Réalisation de modèles de séquence des effets (SdE) appliqués à la conservation du capelan dans le cadre d'une approche d'analyse de risque

Noémie Giguère, Louise Perreault, Pierre Nellis, Claude Savenkoff, Francis Bilodeau, Martine Giangioppi, Gilles H. Tremblay, Réjean Dufour, Sophie Comtois et François Grégoire

Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

2011

Rapport technique canadien
des sciences halieutiques et aquatiques 2934

Fisheries and Oceans Canada | Pêches et Océans Canada

Canada

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications intégrales. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont indexés dans la base de données *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement d'origine dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1–456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457–714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715–924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Rapport technique canadien des
sciences halieutiques et aquatiques 2934

2011

Réalisation de modèles de séquence des effets (SdE) appliqués à la conservation du capelan dans le cadre d'une approche d'analyse de risque

Noémie Giguère[1], Louise Perreault[1], Pierre Nellis[1], Claude Savenkoff[2], Francis Bilodeau[4], Martine Giangioppi[3], Gilles H. Tremblay[1], Réjean Dufour[2], Sophie Comtois[1] et François Grégoire[2]

1 Direction régionale de la gestion des écosystèmes, Pêches et Océans Canada, Institut Maurice-Lamontagne, 850, route de la Mer, Mont-Joli, Québec G5H 3Z4
2 Direction régionale des Sciences, Pêches et Océans Canada, Institut Maurice-Lamontagne, 850, route de la Mer, Mont-Joli, Québec G5H 3Z4
3 Direction générale des océans, Pêches et Océans Canada, 200, rue Kent, Ottawa, Ontario K1A 0E6
4 Direction des Politiques et de l'Économique, Pêches et Océans Canada, 200, rue Kent, Ottawa, Ontario K1A 0E6

© Sa majesté la Reine du chef du Canada, 2011
Cat. No. Fs 97-6/2934F ISSN 0706-6570

On devra citer la publication comme suit :

Giguère, N., Perreault, L., Nellis, P., Savenkoff, C., Bilodeau, F, Giangioppi, M., Tremblay, G.H., Dufour, R., Comtois, S. et Grégoire F. 2011. Réalisation de modèles de séquence des effets (SdE) appliqués à la conservation du capelan dans le cadre d'une approche d'analyse de risque. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2934 : vii + 76 p.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES iii
LISTE DES FIGURES v
LISTE DES ANNEXES v
RÉSUMÉ vi
ABSTRACT vi
1.0 INTRODUCTION 1
2.0 MÉTHODOLOGIE 3
2.1 Modèles de séquence des effets 3
2.1.1 Description du modèle holistique 3
2.1.2 Description des modèles spécifiques 4
2.2 Paramètre ultime 4
2.2.1 Définition du paramètre ultime 5
2.2.2 Cycle de vie du capelan 5
2.3 Aire d'étude 6
2.4 Collecte des données 7
3.0 RÉSULTATS 8
3.1 Modèle holistique de la conservation du capelan 9
3.1.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments 9
3.1.2 Description et interprétation 11
3.2 Modèle spécifique écologique de la zone de fraie et d'alevinage 11
3.2.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments 11
3.2.2 Description et interprétation 15
3.3 Modèle spécifique écologique de l'abondance 16
3.3.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments 16
3.3.2 Description et interprétation 19
3.4 Modèle spécifique écologique du réseau trophique 20
3.4.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments 20
3.4.2 Description et interprétation 23
3.5 Modèle spécifique socio-économique et culturel de la zone de fraie et d'alevinage 23
3.5.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments 23
3.5.2 Description et interprétation 25

3.6 Modèle spécifique socio-économique et culturel de l'abondance 26
3.6.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments 26
3.6.2 Description et interprétation 28
4.0 DISCUSSION 29
5.0 CONCLUSION 30
6.0 REMERCIEMENTS 31
7.0 RÉFÉRENCES 31
8.0 ANNEXES 44

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Étapes de l'analyse de risque 1
Figure 2. Représentation de l'estuaire et du golfe du St-Laurent, de leurs limites et des principales caractéristiques bathymétriques de la région 7
Figure 3. Modèle holistique de séquence des effets sur la conservation du capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent 10
Figure 4. Modèle spécifique écologique de séquence des effets pour la zone de fraie et d'alevinage du capelan 13
Figure 5. Modèle spécifique écologique de la séquence des effets sur l'abondance du capelan 17
Figure 6. Modèle spécifique de la séquence des effets illustrant les relations proie-prédateur associées au capelan 21
Figure 7. Modèle spécifique socio-économique et culturel de la séquence des effets reliés à la zone de fraie et d'alevinage. 24
Figure 8. Modèle spécifique socio-économique et culturel de la séquence des effets associés à l'abondance du capelan 27

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Composition du groupe de travail du MPO ayant collaboré à la phase I du projet pilote 44
Annexe 2. Description des différents termes et symboles utilisés dans les modèles de séquence des effets 45
Annexe 3. Glossaire du modèle holistique 48
Annexe 4. Glossaire des modèles spécifiques écologiques. 52
Annexe 5. Glossaire des modèles spécifiques socio-économiques et culturels 55
Annexe 6. Description des facteurs de stress susceptibles de causer l'altération de la zone côtière 58
Annexe 7. Description des impacts potentiellement engendrés par l'altération de la zone côtière 63
Annexe 8. Exemple de complément d'information au modèle spécifique écologique de la zone de fraie et d'alevinage 74

RÉSUMÉ

Giguère, N., Perreault, L., Nellis, P., Savenkoff, C., Bilodeau, F, Giangioppi, M., Tremblay, G.H., Dufour, R., Comtois, S. et Grégoire F. 2011. Réalisation de modèles de séquence des effets (SdE) appliqués à la conservation du capelan dans le cadre d'une approche d'analyse de risque. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2934 : vii + 76 p.

La première phase de ce projet pilote visait la création de modèles de séquence des effets (SdE) appliqués à la conservation du capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, à l'intérieur du cadre d'analyse de risque. Lors d'une telle analyse, la SdE est créée à l'étape d'identification et de formulation de la problématique afin d'identifier les liens potentiels existant entre les activités humaines, les facteurs de stress générés et leurs impacts sur une composante de l'écosystème et, par conséquent, sur les collectivités qui en dépendent. Le présent projet vient s'annexer aux travaux nationaux réalisés sur le sujet de l'analyse de risque et vise à appliquer les concepts théoriques établis par ceux-ci à une situation réelle. Pour ce faire, le sujet de la conservation du capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent a été retenu, puisque le capelan est une espèce clé dans le réseau trophique marin. Au cours de l'exercice, six modèles SdE ont été élaborés. Ils illustrent chacun une vision soit générale, soit spécifique du contexte de la conservation du capelan. L'ensemble des modèles permet d'obtenir un portrait des liens existants entre les volets écologique, socio-économique et culturel et les paramètres écologiques d'importance que sont la quantité et la qualité de l'habitat de fraie et d'alevinage du capelan et l'abondance du capelan. La création de modèles et leur application à un cas réel (conservation du capelan) ont permis de confirmer l'utilité des SdE en tant qu'outil d'intégration des connaissances et de communication, en plus de confirmer leur rôle de support à la prise de décision et de guide pour les étapes subséquentes de l'analyse de risque.

ABSTRACT

Giguère, N., Perreault, L., Nellis, P., Savenkoff, C., Bilodeau, F, Giangioppi, M., Tremblay, G.H., Dufour, R., Comtois, S. and Grégoire, F. 2011. Pathways of Effects (PoE) model development for capelin conservation as part of a risk analysis process. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.. 2934: vii+71 pp.

The purpose of the first phase of this pilot project was to create Pathways of Effects (PoE) models for capelin conservation in the Estuary and Gulf of St. Lawrence as part of a risk analysis process. When conducting this type of analysis, the PoE is created during the identification and problem formulation phase, the goal being to identify the potential relationships that exist between human activities, the stressors generated, and their impacts on a component of the ecosystem, and consequently on the communities that depend on this component. This project is related to the current national work on risk analysis and applies the theoretical notions established in the earlier work in the context of a real situation. In this context, capelin conservation in the Estuary and Gulf of St. Lawrence was identified for this project, since capelin is a key species in the marine food chain. During this phase, six PoE models were developed, each illustrating one view of capelin conservation that is either general or specific. Together, these models serve illustrate the relationships that exist between the ecological, socio-

economic, and cultural components as well as such key ecological parameters as the quantity and quality of capelin spawning / larval retention habitat and capelin abundance. The development and application of PoE models using a real situation have confirmed their usefulness as tools for integrating knowledge and for communication; PoEs also play a role in providing support for decision-making and guidance for subsequent steps in the risk analysis process.

1.0 INTRODUCTION

L'analyse de risque[1] et les modèles de séquence des effets (SdE) sont des outils d'aide à la prise de décision pouvant supporter les gestionnaires et les praticiens à plusieurs niveaux de planification, notamment dans les domaines de la gestion intégrée des océans et de la gestion écosystémique.

L'analyse de risque est une approche utilisée par plusieurs institutions nationales et internationales (p. ex : Queensland Environmental Protection Agency en Australie, United States Environmental Protection Agency, Agence canadienne d'inspection des aliments et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). Afin de remplir un des mandats du Ministère des Pêches et des Océans (MPO), soit d'« étudier, préserver et protéger la vie aquatique et ses écosystèmes » (MPO 2008a), l'analyse de risque a été identifiée comme un processus important permettant une meilleure gestion des impacts générés par les activités humaines sur des composantes et des fonctions écologiques aquatiques. L'analyse de risque inclut généralement les étapes d'*identification* et de *formulation du problème*, d'*évaluation du risque* et de *gestion du risque* (Figure 1).

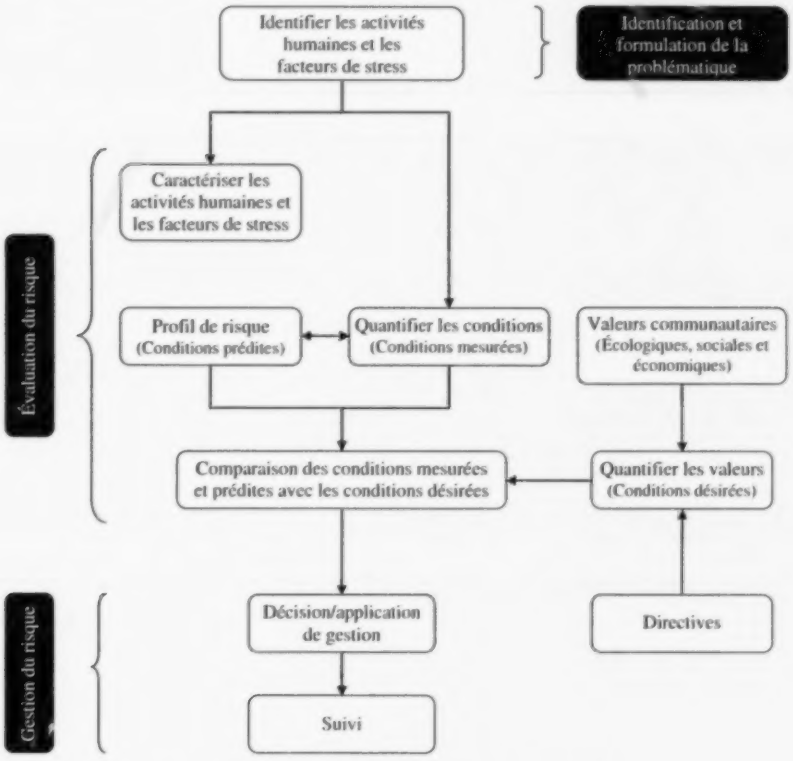


Figure 1. Étapes de l'analyse de risque (adapté de Moss *et al.* 2006).

[1] Le risque est défini comme la probabilité que surviennent des effets néfastes (impacts) suite à l'exposition actuelle ou éventuelle d'une composante écologique à un ou plusieurs facteurs de stress (U.S.-EPA, 1998).

Pour sa part, le modèle de séquence des effets (SdE) est un outil conceptuel plus spécifique qui peut être utilisé dans divers contextes, mais qui est particulièrement pertinent dans le cadre d'une analyse de risque : il contribue à la première étape du processus, l'identification et la formulation du problème, en plus de servir de fondation aux étapes subséquentes. Plus précisément, la SdE illustre et documente les liens potentiels de cause à effet entre certains aspects socio-économiques, culturels, communautaires et écologiques d'une problématique. Ainsi, les modèles peuvent représenter les liens existants entre les activités humaines et leurs impacts écologiques potentiels. Ils permettraient de connaître les industries et les collectivités dépendantes de la ressource, mais aussi de découvrir les industries qui pourraient être touchées par la mise en place de mesures de conservation ou de protection de la ressource.

Au MPO, les modèles SdE ont initialement été développés pour les besoins du Programme de gestion de l'habitat, visant alors à guider les gestionnaires de l'habitat du poisson dans l'évaluation des risques que représentent certains projets (MPO 2006, MPO et ANIR, document non publié[2]). Par la suite, en 2008, un groupe de travail national sur la séquence des effets a été créé par la Direction générale des océans du MPO. Les travaux de ce groupe visaient à faciliter et à harmoniser le développement et l'application des SdE dans le cadre des problématiques environnementales en milieu aquatique et ont permis d'établir les lignes directrices nationales pour la réalisation de modèles de séquence des effets (MPO en prép.[3]).

Le présent projet, mené par la Division de la gestion des océans – région du Québec, vient s'annexer aux travaux nationaux et permet d'appliquer les concepts théoriques établis par ceux-ci dans le cadre d'une situation réelle. La phase I de ce projet met l'accent sur la réalisation de modèles SdE, donc sur les premières étapes de l'analyse de risque. Elle vise à valider la pertinence de l'outil par l'application des principes théoriques à une situation concrète, en adaptant la création des modèles aux besoins du sujet. Dans une deuxième phase, l'étape de l'évaluation des risques sera abordée sur la base de la structure des modèles de SdE développés ici. Pour réaliser efficacement l'ensemble de ce projet et pour assurer la pertinence des résultats, le sujet d'étude de l'analyse de risque se devait de tenir une place d'influence dans l'écosystème du Saint-Laurent. C'est en raison de son importance écologique à titre de maillon essentiel du réseau trophique (Savenkoff *et al.* 2007a, 2007b) et de sa répartition dans l'ensemble de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Grégoire *et al.* 2008) que le capelan (*Mallotus villosus*) a été retenu comme espèce cible pour ce projet pilote. Lors de cette phase I, les modèles de séquence des effets permettront d'illustrer certains impacts des activités humaines sur l'habitat et les populations de capelan et sur les collectivités qui en dépendent, et de mieux connaître les enjeux potentiels s'y rattachant.

Le groupe de travail qui a été formé (Annexe 1) a produit six modèles de SdE qui ont été regroupés en deux catégories distinctes : les modèles de type holistique ou spécifique. Alors que le modèle holistique permet de visualiser l'ensemble des liens existant entre les activités humaines et la conservation du capelan, les modèles spécifiques, au nombre de cinq dans le

---

[2] MPO (Ministère des Pêches et des Océans) et ANIR (Associations nationales des industries des ressources). Non publié. Lignes directrices concernant la présentation des pratiques de gestion optimales en vue de simplifier le processus d'approbation du MPO. Version 1.0/2006. 18 p.

[3] MPO (Ministère des Pêches et des Océans). En préparation. Draft Pathways of Effects National Guidelines: January 25th.

présent document, permettent d'atteindre un niveau de détails supérieur en se concentrant sur un élément spécifique du sujet.

2.0 MÉTHODOLOGIE

Les lignes directrices proposées par le MPO (en prép.) fournissent les bases de la méthodologie qui a été utilisée. Plusieurs des concepts et des définitions présentés dans cette section en sont tirés ou inspirés. Parfois, la réalisation de SdE pour le cas du capelan a aussi demandé d'adapter les méthodologies existantes. L'ensemble de la méthodologie est présenté dans cette section et comprend la description conceptuelle des modèles de séquence des effets, la description de l'objectif de conservation du capelan, la définition de l'aire d'étude et le contexte de la collecte des données.

2.1 MODÈLES DE SÉQUENCE DES EFFETS

Une SdE est définie comme une représentation conceptuelle des relations prédites (mais basées sur des faits) reliant les activités humaines aux facteurs de stress[4] et aux impacts qu'elles peuvent avoir sur une composante écologique ou biologique (MPO en prép.). L'altération d'une telle composante peut aussi, en retour, avoir des conséquences sur les biens et services fournis par l'écosystème (définition à l'Annexe 2) et, ultimement, sur les activités et sur les valeurs socio-économiques ou culturelles.

Les produits de la SdE sont i) une représentation schématique des relations permettant la visualisation de la situation étudiée et ii) un document descriptif de la SdE basé sur la littérature. Les modèles de séquence des effets peuvent être adaptés à différents contextes et besoins. Ils peuvent prendre plusieurs formes en fonction du sujet traité et de la façon dont il est abordé. En conséquence, les modèles peuvent être plus ou moins complexes selon l'échelle (locale, régionale ou nationale) à laquelle un modèle est construit et le degré de détails qui y sera inclus. Les facteurs importants à considérer lors du développement de modèles SdE comprennent : le nombre de relations décrites, la quantité et la qualité de l'information disponible, la précision des prédictions formulées, le degré d'incertitude entourant les liens décrits et la possibilité d'effectuer des mesures de validation des résultats (MPO en prép.).

2.1.1 Description du modèle holistique

Le modèle SdE de type holistique fournit une vue d'ensemble d'une situation en limitant le nombre de détails, ce qui permet de se concentrer sur l'identification des activités humaines présentes dans une unité géographique, sur les facteurs de stress découlant de celles-ci et sur les éléments de l'écosystème et de la société reliés au sujet. Il a aussi pour avantage de faire ressortir

[4] L'expression « Facteur de stress » a été choisie pour traduire les termes « Pressure » et « Stressor » utilisés dans certaines références anglophones (p. ex. MPO en prép.). Dans ce document, le facteur de stress est généralement de source anthropique et est parfois nommé « facteur de stress humain » en distinction de l'expression « facteur de stress naturel ». Pour les définitions des expressions « facteur de stress humain » et « facteur de stress naturel », se référer au glossaire (Annexe 2).

le nombre d'activités et d'interactions possibles dans un secteur et, par le fait même, de mettre en lumière les effets cumulatifs potentiels sur l'écosystème et ses composantes.

Le modèle holistique produit pour la conservation du capelan est présenté à la Section 3.1. Pour réaliser ce schéma de SdE, une série de termes et de symboles a été sélectionnée afin de représenter adéquatement l'ensemble du contexte. Le design des symboles a été soit repris des modèles existants au MPO (en prép.), soit développé suivant une logique similaire. Ces termes et symboles sont présentés à l'Annexe 2.

2.1.2 Description des modèles spécifiques

Alors qu'un modèle holistique présente une vision d'ensemble d'un contexte, des modèles spécifiques (ou détaillés) existent afin de mieux faire ressortir les particularités ou la complexité d'une situation. Dans le document du MPO (en prép.), deux principaux types de modèles spécifiques sont identifiés, soit les modèles de type « Endpoint » et les modèles de type « Activity/Action and Sector-based ». L'utilisation de l'un ou de l'autre dépend des buts et des objectifs de l'analyse. Pour les besoins du projet, le modèle de type « Endpoint » a été sélectionné.

Les modèles de type « Endpoint » se concentrent sur un paramètre en particulier comme, par exemple, une composante de l'écosystème (MPO en prép.). Ils sont construits selon un axe vertical et peuvent montrer i) les secteurs d'activité ou les facteurs de stress pouvant influencer les composantes écologiques et, par conséquent, ayant une incidence sur une espèce (p. ex. les modèles écologiques ou basés sur l'espèce); ou ii) l'ensemble des conséquences potentielles de l'altération de composantes écologiques sur les valeurs sociales, culturelles et économiques (p. ex. les modèles socio-économiques et culturels); ou 3) seulement les facteurs de stress qui ont le potentiel d'affecter des composantes écologiques de l'écosystème (p. ex. les modèles basés sur les facteurs de stress) (MPO en prép.).

Tel que mentionné précédemment, cinq modèles spécifiques ont été créés dans le but d'approfondir certaines parties du sujet pour lesquelles une vision plus détaillée était pertinente. Ces modèles spécifiques sont divisés en deux catégories : des modèles spécifiques écologiques et des modèles spécifiques socio-économiques et culturels (présentés aux Sections 3.2 à 3.6). Ici aussi, une série de termes et de symboles a été sélectionnée afin de créer les schémas. Le design des symboles et la terminologie ont été soit repris de modèles existant au MPO (en prép.), soit développés en harmonie avec ces derniers (Annexe 2).

2.2 PARAMÈTRE ULTIME

Puisque le capelan a été choisi comme espèce cible, le contexte et les caractéristiques propres à cette espèce ont été pris en considération lors de la réalisation des différents modèles de SdE. Afin d'appuyer le processus sur des bases scientifiques, une revue des connaissances sur la biologie du capelan a été réalisée. À la suite de cette étape, la composante écologique à valoriser, qui sera appelée « paramètre ultime » dans le cadre du projet pilote, a été définie. Le paramètre ultime et le cycle de vie de l'espèce sont décrits aux sections suivantes.

2.2.1 Définition du paramètre ultime

Le capelan représente un maillon très important du réseau trophique puisqu'il permet le transfert de l'énergie depuis les producteurs primaires et secondaires (phytoplancton et zooplancton), dont il s'alimente, aux niveaux trophiques supérieurs (poissons et mammifères marins), dont il est la proie (Savenkoff *et al.* 2007a). En raison de cette importance écologique et des contacts possibles entre l'espèce et certaines activités humaines, particulièrement en zone côtière où se situe sa zone de fraie et d'alevinage (voir Section 2.2.2), la « conservation du capelan » de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent a été déterminée comme paramètre ultime.

L'objectif de conservation du capelan retenu pour le projet s'appuie sur les travaux de l'atelier d'élaboration d'objectifs de conservation pour la gestion intégrée dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (GIGSL) (MPO 2007a). Lors de cet exercice, le capelan a été placé sur une liste provisoire des espèces prioritaires à considérer pour l'élaboration éventuelle d'objectifs de conservation liés aux espèces d'importance écologique dans l'écosystème marin du Saint-Laurent. Même si ces espèces et les objectifs de conservation qui y sont associés n'ont pas été validés lors de l'atelier (MPO 2007a), un objectif préliminaire peut être formulé sur la base du critère par lequel le capelan peut être considéré comme une espèce d'importance écologique (espèce fourragère). Ainsi, « S'assurer que le Capelan (*Mallotus villosus*) ne soit pas perturbé par les activités humaines au point où il ne puisse pas remplir son rôle en tant qu'élément important du réseau trophique dans l'écosystème » (M. Gilbert et R. Dufour, MPO, comm. pers.) est retenu ici comme objectif de conservation du capelan. Cet objectif tient une place centrale à l'intérieur des modèles SdE produits.

Aussi, l'objectif général formulé pour les dix zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (MPO 2009) peut être adapté au besoin du projet de façon à souligner l'importance de certaines zones (habitats) pour la conservation de l'espèce elle-même. Ainsi, il est retenu de « Faire en sorte que les caractéristiques qui rendent la zone appropriée pour l'agrégation et/ou qui assurent la reproduction et la survie des espèces dépendantes de la zone ne soient pas altérées par les activités humaines ». Il est possible que la poursuite des travaux sur la GIGSL permette de mieux cerner l'objectif de conservation touchant le capelan dans l'avenir, si cette espèce est reconnue comme une espèce d'importance écologique dans le cadre d'un processus formel de revue scientifique sur cette question.

2.2.2 Cycle de vie du capelan

Le capelan est un petit poisson pélagique qui passe la majorité de sa vie au large et se déplace vers la côte au moment de la fraie. Sa distribution est circumpolaire et on le retrouve dans le nord-ouest de l'Atlantique, le long des côtes du Labrador et de Terre-Neuve, sur les Grands Bancs, ainsi que dans l'estuaire et le golfe Saint-Laurent (MPO 2008b). Le capelan ne vit que quelques années, peu de poissons dépassent quatre ans (Stergiou 1991, Mowbray 2002). La maturité sexuelle est atteinte vers l'âge de deux ou trois ans. Toutefois, le stock reproducteur est presque exclusivement composé de poissons âgés de trois à quatre ans (Jangaard 1974).

La ponte, qui s'effectue principalement sur les plages et dans les eaux peu profondes, a lieu généralement durant la nuit ou par temps nuageux (Jangaard 1974) à des températures de l'eau se

situant entre 6 et 10 °C (MPO 2008b). La période de fraie dure généralement de quatre à six semaines. Selon Grégoire (2004), elle débute d'abord dans l'estuaire du Saint-Laurent, vers la mi-avril, et se déplace graduellement vers l'est pour se produire en juillet sur la Basse-Côte-Nord du Québec et la côte ouest de Terre-Neuve. Cependant, des données non publiées, récoltées au cours des dix dernières années par le Réseau des observateurs du capelan (ROC), indiquent que la fraie pourrait être simultanée dans l'Estuaire et le Golfe.

Lors de la fraie, les capelans sont divisés en deux bancs selon leur sexe. Le banc de mâles est situé près de la plage et le banc de femelles plus au large. Lorsque les femelles sont prêtes à pondre, elles se dirigent vers la plage, où elles sont rejointes par les mâles (Jangaard 1974). Lorsque les femelles et les mâles se rencontrent, ils nagent côte à côte et se rendent le plus près possible de la plage. Ils creusent alors rapidement un sillon avec l'aide de leurs nageoires et de leur queue dans le sédiment meuble et ils tentent d'enterrer les œufs aussi profondément que possible. Le ressac de la vague contribue également à enfouir les œufs dans le substrat. Après la fraie, la majorité des mâles meurent (près de 100 %) et seulement quelques femelles survivent (MPO 2008b). La mortalité naturelle est très élevée, ce qui peut faire fluctuer grandement l'abondance des populations et rendre cette espèce sensible aux autres sources de mortalité d'une année à l'autre.

Les œufs sont rougeâtres et d'un diamètre d'environ 1 mm. Ils s'attachent au gravier sur la plage ou au fond. Le temps d'incubation varie en fonction de la température de l'eau, il est d'une durée de 15 jours en moyenne à 10 °C (Jangaard 1974). À l'éclosion, les larves mesurent de 3 à 6 mm de long. Elles deviennent alors pélagiques et demeurent près de la surface jusqu'à l'arrivée de l'hiver (MPO 2008b). Par la suite, elles se déplacent en plus grande profondeur jusqu'à ce que l'eau se réchauffe au printemps (Jangaard 1974). Templeman (1948, cité dans Jangaard 1974) a observé qu'au début du premier hiver, les larves de capelan mesurent entre 2 et 4 cm de long. Vers l'âge d'un an, le capelan est considéré comme juvénile et a atteint la taille de 8 cm. À maturité, les femelles mesurent entre 15 et 17 cm et les mâles entre 17 et 19 cm (Jangaard 1974).

2.3 AIRE D'ÉTUDE

L'aire d'étude du projet est l'estuaire et le golfe du St-Laurent (Figure 2).

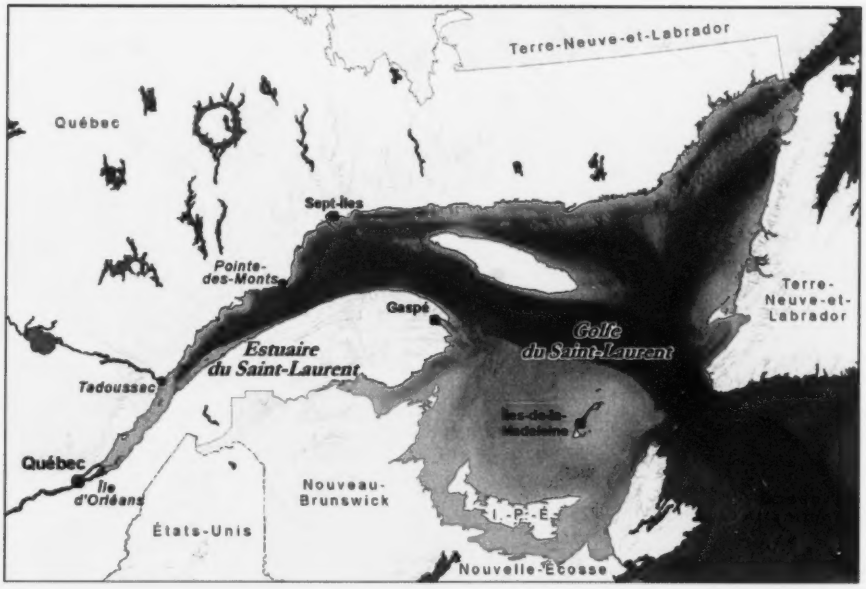


Figure 2. Représentation de l'estuaire et du golfe du St-Laurent, de leurs limites (trait rouge) et des principales caractéristiques bathymétriques de la région (source : Système d'information pour la gestion de l'habitat du poisson – SIGHAP, MPO).

2.4 COLLECTE DES DONNÉES

Les étapes suivies lors de la collecte des données ont d'abord visé à rassembler les informations générales sur la biologie de l'espèce, telles que mentionnées à la Section 2.2, pour ensuite cibler les différents éléments du contexte anthropique à retenir pour la réalisation des modèles. Lors de cette étape, plusieurs éléments ont été ressortis et documentés afin de décrire le lien potentiel reliant chacun d'eux à la conservation du capelan. Les différentes catégories d'éléments de la SdE qui ont fait l'objet de recherches sont les paramètres ultimes mesurables, les dépendances socio-économiques et culturelles, les biens et services de l'écosystème aquatique, les activités humaines, les facteurs de stress humain et naturel, les facteurs modulateurs humains et naturels, les impacts, les conséquences socio-économiques et culturelles, les avis scientifiques et les industries affectées. Chacune de ces catégories d'éléments de la SdE est définie et approfondie dans les glossaires (Annexes 2 et 3).

Au final, il faut toutefois noter que très peu d'études documentent les impacts engendrés par les activités humaines sur le capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. La majorité des informations trouvées se rapporte soit à des études sur le capelan dans une autre région du Canada ou du monde, soit à des espèces de poissons apparentées, qu'elles soient présentes ou non dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Aussi, la collecte de données a mené au constat suivant : les connaissances scientifiques actuelles sur le capelan sont très fragmentaires, notamment au sujet de sa biologie, de son abondance, de ses aires de fraie et d'alevinage et des facteurs environnementaux influençant ses migrations annuelles et sa variabilité naturelle. À titre d'exemple, il n'existe aucun relevé systématique permettant de mesurer adéquatement

l'abondance du stock de capelan de l'Estuaire et du Golfe et il existe des lacunes importantes quant aux connaissances sur le nombre, la localisation et la taille des frayères chez le capelan (Grégoire *et al.* 2008). L'ensemble de ces lacunes vient augmenter le niveau d'incertitude des résultats de la collecte et, par conséquent, complexifie l'identification et la caractérisation des relations entre les différents éléments des SdE. Lorsque les données étaient incomplètes et lorsque cela était pertinent, l'opinion d'experts a été considérée. Ainsi, les SdE produites sont le résultat d'une interprétation et d'une synthèse des informations disponibles et d'un consensus obtenu parmi les participants du groupe de travail. La qualité et la quantité d'information disponible pour justifier les liens établis entre les éléments présentés dans les modèles ont de ce fait influencé l'ensemble des résultats présentés à la section suivante.

3.0 RÉSULTATS

Les modèles SdE appliqués à la conservation du capelan suivent les concepts théoriques présentés à la Section 2.1. À l'occasion, certains ajustements ont été nécessaires afin d'adapter le produit aux particularités de la situation réelle et aux besoins des intervenants et des décideurs concernés par cette ressource. Dans les modèles touchés par ces ajustements (présentés aux Sections 3.2 à 3.6), les parties des schémas représentant la séquence des effets conventionnelle sont placées à l'intérieur d'un encadré gris, les éléments hors cadre représentant alors les ajustements susmentionnés. Il peut s'agir d'éléments de contexte (p. ex. les facteurs modulateurs humains) ou encore d'éléments opérationnels (p. ex. l'élaboration d'avis scientifiques) qui ont le potentiel d'influencer ou d'être rattachés aux différents éléments de la SdE conventionnelle.

Les Sections 3.1 à 3.6 présentent les six modèles de SdE réalisés dans le cadre du projet. Pour chacun des modèles, une première sous-section présente et décrit les éléments des modèles et les principales informations qui justifient leur intégration à la SdE. Une seconde sous-section permet une description des liens potentiels et une interprétation des modèles (faits saillants, points forts et points faibles).

Pour faciliter la compréhension des résultats, il est conseillé de consulter :

1) pour le modèle holistique : le glossaire du modèle holistique (Annexe 3) et les définitions et exemples des éléments de la SdE (Annexe 2);
2) pour les modèles spécifiques écologiques : les glossaires des modèles spécifiques écologiques (Annexe 4) et du modèle holistique (Annexe 3), de même que les définitions et exemples des éléments de la SdE (Annexe 2);
3) pour les modèles spécifiques socio-économiques et culturels : les glossaires des modèles spécifiques socio-économiques et culturels (Annexe 5) et du modèle holistique (Annexe 3), de même que l'Annexe 2 pour les définitions et exemples des éléments de la SdE.

3.1 MODÈLE HOLISTIQUE DE LA CONSERVATION DU CAPELAN

3.1.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments

La Figure 3 présente le schéma du modèle holistique de séquence des effets sur la conservation du capelan. Cette vue d'ensemble permet de cerner les 11 secteurs d'activités présents dans l'Estuaire et le Golfe (p. ex. les activités municipales et les pêches) et ayant une influence potentielle sur le paramètre ultime. Les deux principaux facteurs de stress associés aux activités humaines (altération de la zone côtière[5] et prélèvement de la biomasse) qui peuvent générer des impacts sur les biens et services de l'écosystème aquatique et sur les activités socio-économiques et culturelles qui en dépendent y sont aussi présentés. Les principaux éléments du modèle sont décrits ci-dessous.

3.1.1.1 Activités humaines et dépendances socio-économiques et culturelles : onze secteurs d'activités sont présents ou ont le potentiel d'être présents dans l'aire d'étude à court et moyen termes. Par exemple, le domaine des énergies renouvelables n'y apparaît pas puisqu'aucun projet d'installation d'infrastructures éoliennes en milieu marin n'est présent ou envisagé à l'heure actuelle. Chacune de ces activités est associée à au moins un des facteurs de stress identifié.

3.1.1.2 Facteurs de stress humain : deux principaux facteurs de stress associés aux activités humaines et susceptibles d'influencer la conservation du capelan ont été identifiés : l'altération de la zone côtière[4] et le prélèvement de la biomasse. Les causes anthropiques de l'altération côtière peuvent provenir à la fois des milieux terrestres et marins. De son côté, le prélèvement de la biomasse représente la capture (généralement en poids) d'un stock de poissons ou d'une fraction d'un stock de poissons (Ricker 1980).

3.1.1.3 Paramètres ultimes mesurables (PUM) : les paramètres ultimes mesurables sont des éléments mesurables liés au paramètre ultime (PU) et qui établissent le lien entre le PU et les objectifs de gestion déterminés par les décideurs (MPO en prép.). Il existe plusieurs PUM pouvant être liés à la conservation du capelan, mais deux d'entre eux ont été retenus en raison de leur pertinence face aux objectifs du projet, soit i) la quantité et la qualité de l'habitat de fraie et d'alevinage du capelan[6] et ii) l'abondance du capelan. Ensemble, ils permettent d'identifier une majorité d'impacts et de facteurs de stress potentiels engendrés par les activités humaines et influençant le capelan et sa conservation.

---

[5] Il est à noter que l'« Altération de la zone côtière » est une catégorie regroupant les facteurs de stress identifiés et retenus pour leur capacité potentielle à perturber la zone côtière. La création de cette catégorie permet de simplifier la représentation schématique du modèle holistique. Les facteurs de stress constituant la catégorie « Altération de la zone côtière » sont présentés individuellement dans le modèle spécifique écologique de la Section 3.2.

[6] Dans le but d'alléger le texte, le PUM « Quantité et qualité de l'habitat de fraie et d'alevinage du capelan » sera nommé « Zone de fraie et d'alevinage » pour la suite du document.

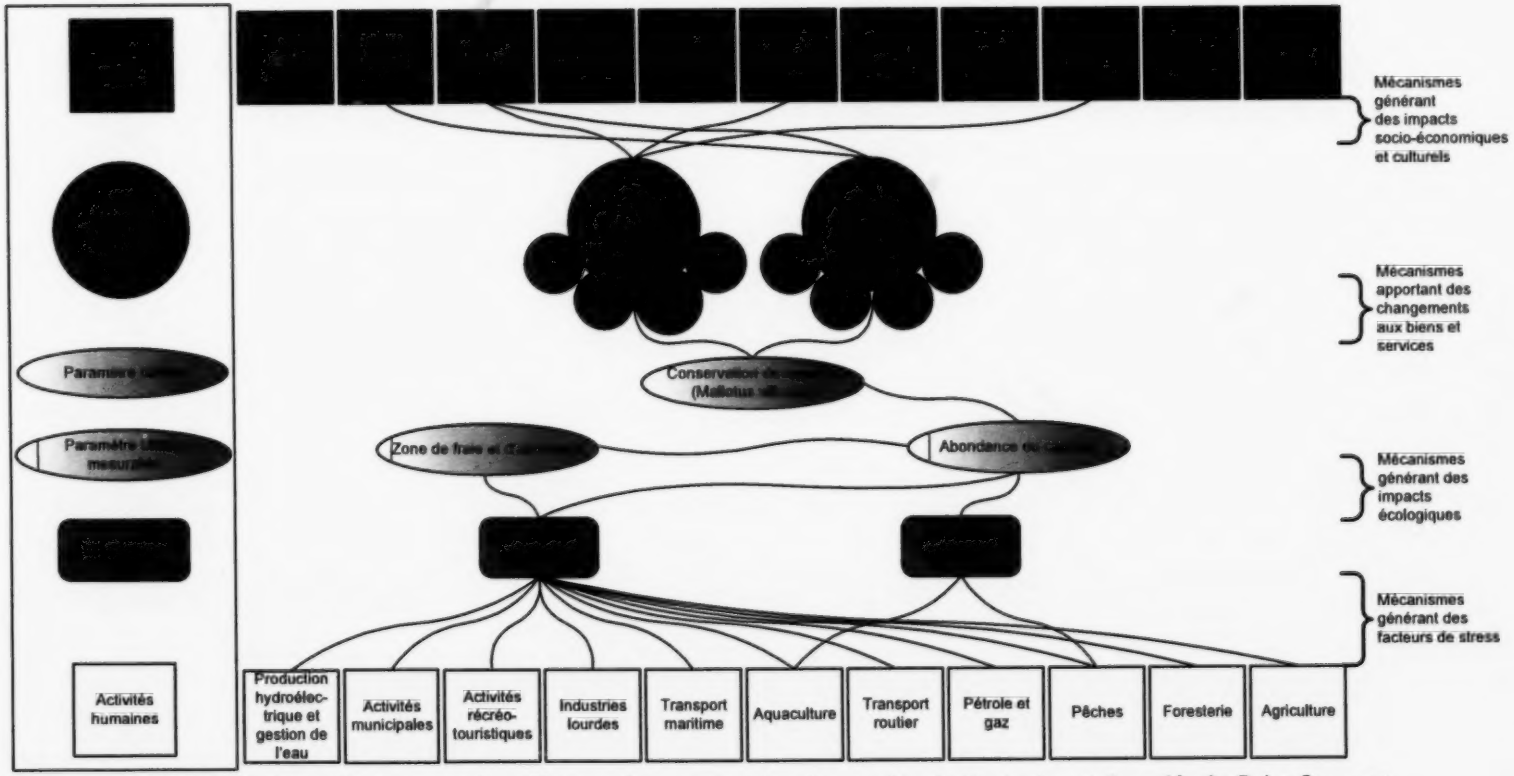


Figure 3. Modèle holistique de séquence des effets sur la conservation du capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

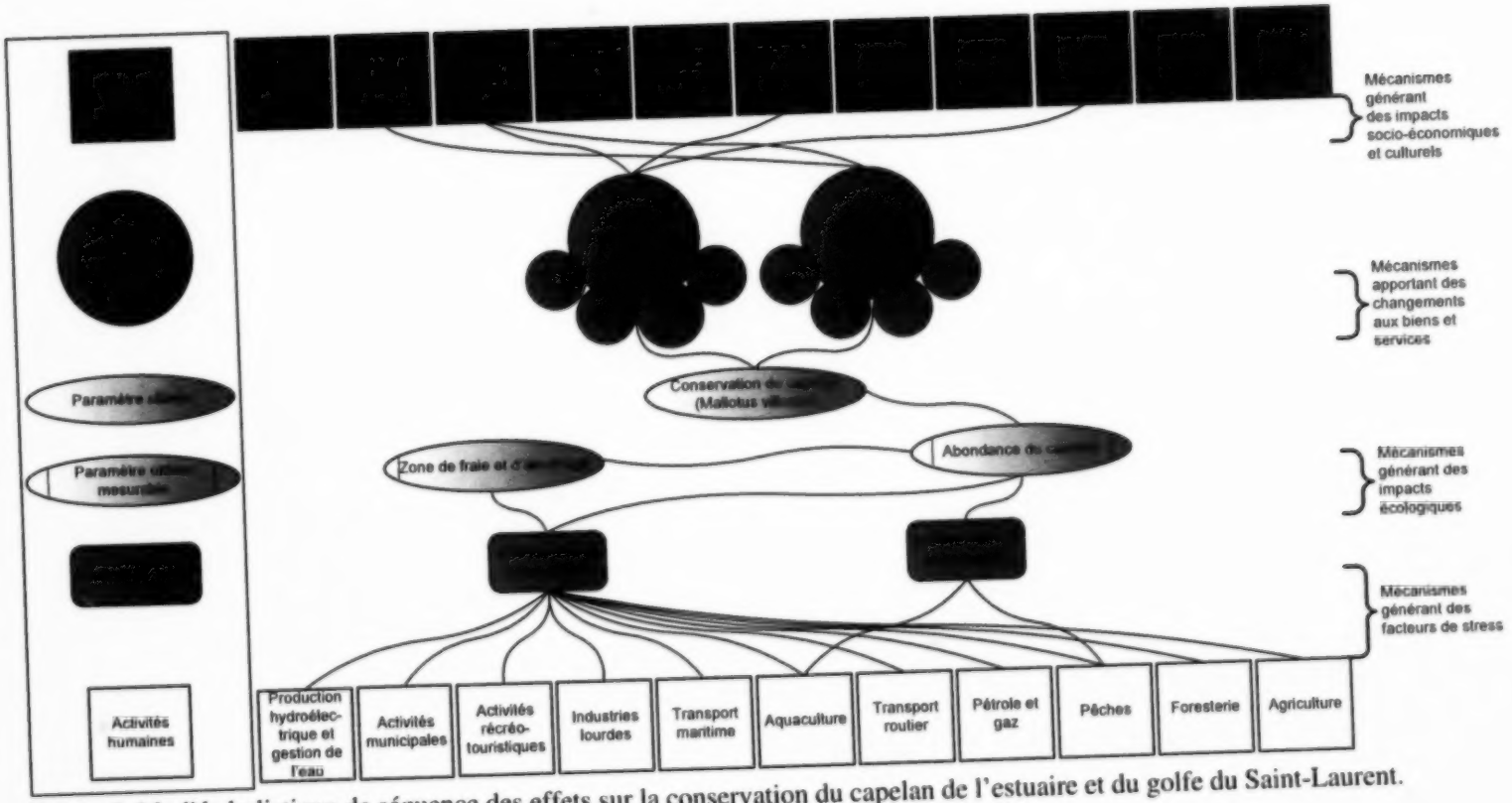


Figure 3. Modèle holistique de séquence des effets sur la conservation du capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

3.1.1.4 Biens et services de l'écosystème aquatique : les biens et services de l'écosystème aquatique sont multiples et peuvent comporter plusieurs sous-catégories. Les lignes directrices du MPO (en prép.) présentent un exemple de modèle holistique basé sur les catégories de services proposées par le Groupe de travail sur le cadre conceptuel de l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (EM 2005) : les services de support, les services d'approvisionnement, les services culturels et les services de régulation. Dans le contexte de la conservation du capelan, deux d'entre eux ont été retenus, soit les services d'approvisionnement et les services culturels.

3.1.1.5 Dépendances socio-économiques et culturelles : les secteurs d'activités présents ou ayant le potentiel d'être présents dans l'aire d'étude, identifiés à la Section 3.1.1.1, ne sont pas tous dépendants de la ressource capelan. Cette catégorie permet d'identifier clairement ces dépendances.

3.1.2 Description et interprétation

Le modèle holistique permet de faire certains constats généraux entourant la conservation du capelan. Premièrement, il semble que les paramètres ultimes mesurables sont reliés entre eux. Ceci s'explique, entre autres, par l'effet possible de la qualité de la zone de fraie et d'alevinage sur le nombre d'œufs et d'alevins viables (abondance du capelan). Aussi, toujours à titre d'exemple du lien unissant les PUM, la variation du nombre de reproducteurs pourrait ultimement mener à une variation du nombre de sites de fraie (taux d'occupation des sites en période de fraie). Aussi, il ressort du modèle que la majorité des activités humaines pourraient engendrer des mécanismes capables de provoquer l'altération de la zone côtière, alors que seules l'aquaculture et les pêches induiraient significativement le facteur de stress « prélèvement de la biomasse ». Aussi, le capelan pourrait fournir des biens et services directs (approvisionnement ou culturels) à quatre secteurs d'activités, soit l'aquaculture, les pêches, les activités municipales et les activités récréotouristiques.

Le modèle holistique présente plusieurs avantages. Il fait ressortir l'ensemble des différentes activités présentes et de leurs interactions possibles avec le paramètre ultime. Il met aussi en lumière les effets cumulatifs, que ce soit sur l'écosystème et ses composantes ou sur les secteurs d'activités humaines qui en dépendent ou qui pourraient être visés par la mise en place de mesure de protection de l'espèce. Ceci montre l'éventail des répercussions écologiques, socio-économiques et culturelles reliées à la conservation du capelan. Le principal point faible de ce modèle est le niveau restreint de détails qui limite l'interprétation possible.

3.2 MODÈLE SPÉCIFIQUE ÉCOLOGIQUE DE LA ZONE DE FRAIE ET D'ALEVINAGE

3.2.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments

Le schéma du modèle présenté à la Figure 4 établit les facteurs de stress humain retenus pour constituer la catégorie « Altération de la zone côtière », soit la modification de la zone riveraine, la modification du régime hydrique, la modification de la température et de la salinité de l'eau, la

modification de l'apport de matière organique et/ou de nutriments et l'introduction de contaminants. Il montre également les liens possibles reliant ces facteurs de stress entre eux et aux différents impacts qu'ils peuvent produire sur les PUM. Ces facteurs de stress sont abordés plus en détail aux Sections 3.2.1.1 à 3.2.1.5 et des informations complémentaires sont fournies aux Annexes 6 et 7. Se retrouvent aussi dans ce modèle les avis scientifiques qui viennent caractériser le PUM « Abondance du capelan » en évaluant chaque année l'état du stock de capelan dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et en formulant des recommandations pour sa conservation. Enfin, le facteur modulateur de la « gouvernance » a été retenu pour souligner, par exemple, les effets potentiels que les mesures de gestion peuvent avoir sur la modification de la zone riveraine.

3.2.1.1 Facteur de stress « Modification de la zone riveraine » : puisque l'habitat de fraie et d'alevinage du capelan se situe principalement en zone côtière, toute modification de celle-ci aurait des effets potentiels sur la conservation du capelan. Concrètement, les changements survenant au niveau des variables reliées à l'érosion amplifient le processus de recul des littoraux (Savard *et al.* 2009). Si l'érosion se traduit par une réduction de la largeur de la plage, alors elle peut conduire à la diminution du nombre de sites de fraie et de la quantité d'œufs pondus, et ainsi contribuer à la diminution de l'abondance. Toutefois, il n'est pas exclu que les sédiments rendus disponibles par les processus d'érosion puissent contribuer à leur tour à recharger ou à engraisser (accrétion) certaines plages propices à la reproduction du capelan.

D'un autre côté, les activités humaines visant à limiter l'impact de l'érosion et le recul important de certaines plages et falaises (p. ex. ouvrages de protection, recharge artificielle des plages) modifient aussi la dynamique naturelle du littoral (p. ex. accumulation de roches ou de sédiments) et potentiellement l'habitat de fraie et d'alevinage du capelan. Nakashima et Taggart (2002) ont d'ailleurs démontré que, pour les capelans qui pondent sur la plage, la structure et la taille des sédiments ont une influence quantitative et significative sur le succès de ponte. Enfin, l'artificialisation des côtes (p. ex. développement municipal, portuaire et routier) peut constituer un stress pour l'habitat du capelan dans les régions concernées. Un exemple concret illustrant ce type de modification ou de détérioration est celui de la plage de Ferguson en Gaspésie qui a été enrochée presque entièrement, induisant perte de superficie de la zone intertidale et érosion, de sorte que le capelan ne l'utilise plus pour frayer (Hans-Frédéric Ellefsen, MPO, comm. pers.).

3.2.1.2 Facteur de stress « Modification du régime hydrique » : le développement de certains stades de vie des poissons est synchronisé avec les variations saisonnières de la productivité et des conditions environnementales, comme le régime hydrique. Ainsi, une modification de ces conditions peut avoir un impact sur le développement, voire sur la survie de ceux-ci (Stalnaker *et al.* 1989). Dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, la majorité des apports d'eau douce provient des bassins versants. Une des principales sources de variation du débit d'eau douce à prévoir dans les prochaines années pourrait résulter de l'augmentation des précipitations causée par les changements climatiques (Dufour et Ouellet 2007). Des changements dans les courants marins, principalement dus à la fonte des glaciers, pourraient également influencer la production primaire et la migration de diverses espèces marines (Anderson et Möllmann 2004).

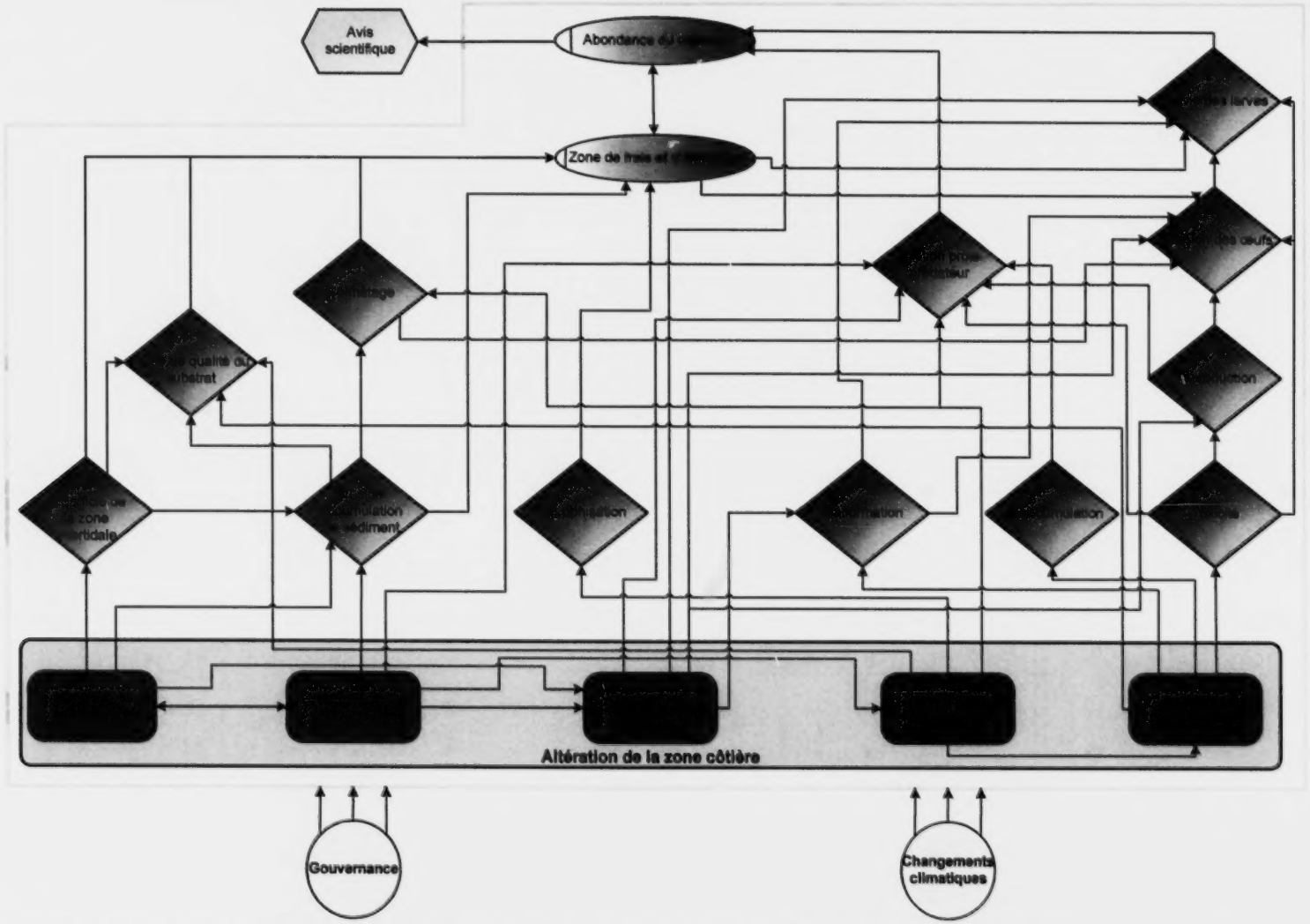


Figure 4. Modèle spécifique écologique de séquence des effets pour la zone de fraie et d'alevinage du capelan.

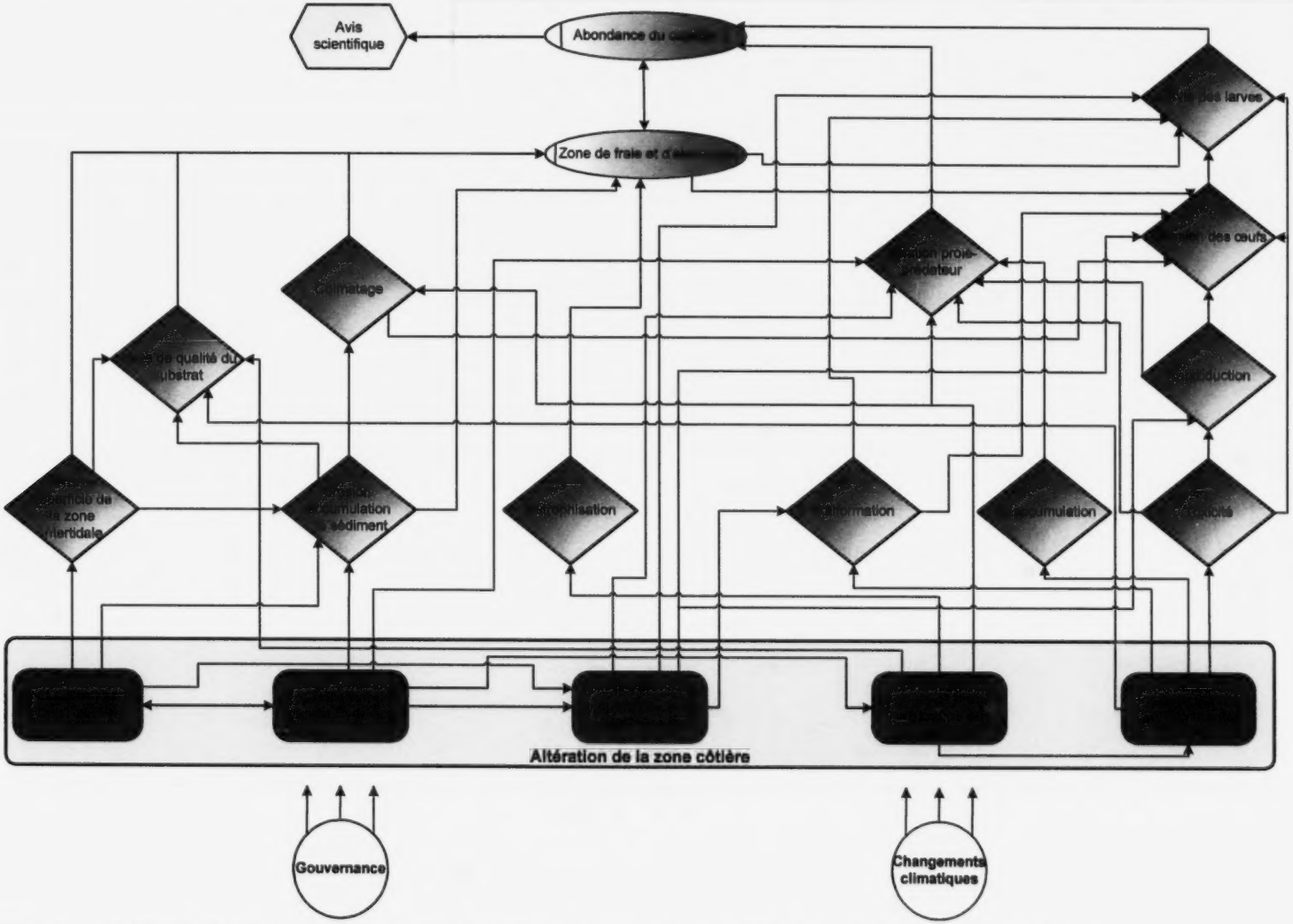


Figure 4. Modèle spécifique écologique de séquence des effets pour la zone de fraie et d'alevinage du capelan.

3.2.1.3 Facteur de stress « Modification de la température et de la salinité de l'eau » : toute activité pouvant modifier la température ou la salinité de l'eau a le potentiel d'affecter la conservation du capelan. La distribution de l'espèce est limitée par ces paramètres : le capelan fréquente les eaux saumâtres à océaniques (Stergiou 1991) et ses préférences thermiques se situent entre 1 et 14 °C (Stergiou 1991). Puisqu'il ne produit pas de protéine antigel, des températures inférieures à -1,9 °C lui sont fatales (Mowbray 2002). Ainsi, l'un des principaux facteurs limitant la distribution et la migration des capelans adultes serait la température ou le changement de la distribution du plancton et des proies, ce dernier changement étant lui-même associé à la température de l'eau (Stergiou 1991, Rose 2005). Selon Jàkupsstovu et Reinert (2002) et Rose (2005), le capelan semble réagir rapidement au changement de température de l'eau en modifiant son aire de distribution.

De plus, la température de l'eau est l'un des facteurs qui influencent le plus le métabolisme et la vulnérabilité aux maladies des organismes aquatiques (Bacon *et al.* 2005). De telles variables abiotiques, qui agissent à des moments critiques du développement larvaire, peuvent aussi constituer d'importants régulateurs des cohortes (Leggett *et al.* 1984). Des températures de l'eau plus élevées peuvent diminuer le succès reproductif en influençant le succès de la ponte, l'incubation des œufs et l'éclosion des larves (Nakashima et Wheeler 2002). Dans le golfe du Saint-Laurent, les variations récentes de la température de l'eau semblent avoir affecté de façon significative différents aspects du cycle de vie du capelan, notamment sa distribution, sa ponte et sa croissance (Nakashima 1996, Grégoire 2004). Toutefois, pour l'instant, l'impact de ces variations de température sur la mortalité naturelle, la production et le recrutement de l'espèce n'est pas connu (Grégoire 2004).

3.2.1.4 Facteur de stress « Modification de l'apport en matière organique ou en nutriments » : les activités humaines peuvent augmenter la quantité de matière organique et de nutriments du sol transportés par l'action de l'eau (pluies ou fonte des neiges). Les eaux des rivières contiennent généralement de plus fortes concentrations de substances nutritives que les eaux superficielles de l'océan. Elles peuvent donc constituer une source importante de nutriments pour les eaux estuariennes ou côtières (Yeats 1988) et seraient corrélées avec la production de poissons dans le Golfe (Sutcliffe 1973, Yeats 1988, MCI 2009a). L'arrivée des crues printanières transportant d'importantes quantités de matières organiques et de nutriments coïncide avec les floraisons planctoniques (Levasseur 1996). Ce synchronisme permet aux jeunes capelans de s'alimenter dans la zone de fraie.

En trop grande quantité, et en fonction des conditions environnementales locales (p. ex. courant et topographie), ces apports peuvent conduire à l'eutrophisation d'un habitat côtier (MPO 2003, Dufour et Ouellet 2007). La matière organique, lorsqu'elle est en suspension et lorsqu'elle sédimente, est aussi en mesure de perturber la zone de fraie et d'alevinage de plusieurs façons directes (p. ex. le colmatage, la turbidité) ou indirectes (p. ex. eutrophisation ou influence sur les proies du capelan). À titre d'exemple, des apports massifs peuvent entraîner des malformations chez les embryons en développement. D'après Nakashima et Wheeler (2002), des développements anormaux tendent à réduire le taux d'éclosion. À l'inverse, une activité qui provoquerait une retenue des nutriments ou de la matière organique, principalement en provenance des bassins versants, pourrait aussi perturber l'équilibre sédimentaire du milieu.

3.2.1.5 Facteur de stress « Introduction de contaminants » : de multiples contaminants sont introduits dans l'écosystème marin par les eaux de ruissellement, par les effluents urbains et industriels et par voies maritimes (rejets accidentels) ou atmosphériques (sous la forme de gaz ou d'aérosols) (Dufour et Ouellet 2007). Les contaminants présents dans les particules en suspension ou emmagasinés dans les sédiments peuvent conduire à une diminution de la qualité des sites de fraie. Cette situation se reflète par une diminution du succès reproductif, du taux de survie des œufs ou des larves et contribue ainsi à la diminution de l'abondance des populations (Annexe 7). Aussi, plusieurs études ont démontré que les contaminants ont des effets néfastes directs sur plusieurs aspects du cycle de vie des poissons (Dufour et Ouellet 2007). Par exemple, certains contaminants présentent une toxicité aigüe pour les poissons et peuvent entraîner une mortalité accrue des stades matures, ayant pour effet de réduire le stock de géniteurs et, par le fait même, le nombre d'œufs pondus. Des poissons exposés de façon chronique à des contaminants peuvent avoir un état de santé général détérioré, ce qui influence négativement la qualité et la quantité des œufs pondus et ainsi l'abondance du recrutement. Parmi les impacts potentiels associés aux contaminants, il est possible de mentionner les malformations tissulaires engendrées par les métaux lourds (Mance 1987, Sorenson 1991) ou les effets neurotoxiques, embryotoxiques, hépatotoxiques et androgéniques induits par le tributylétain (TBT) chez les poissons (Fent 1996 et 2006).

3.2.2 Description et interprétation

Ce premier modèle spécifique écologique illustre le fait que chacun des 12 principaux impacts identifiés est relié au minimum à un facteur de stress, mais qu'ils peuvent aussi être engendrés par plus d'un. À titre d'exemple, l'érosion/accumulation de sédiment peut être provoquée par la modification de la zone riveraine ou par la modification du régime hydrique. Il est à noter qu'un impact peut également générer un autre impact. Dans l'exemple précédent, l'érosion/accumulation de sédiment est aussi induite par la perte de superficie de la zone intertidale. Enfin, il ressort que les facteurs de stress sont parfois reliés les uns aux autres même si cette particularité diffère de la théorie des SdE. En raison de l'application des modèles à une situation réelle, cet ajustement a été retenu puisqu'il permet d'illustrer des faits documentés comme, par exemple, une modification du régime hydrique qui induit à son tour une modification de l'apport de matière organique et de nutriments.

Afin de faciliter la description du modèle, il est possible de considérer un seul facteur de stress à la fois. Ainsi, après l'examen des effets propres à la modification de la zone riveraine, il apparaît que les impacts potentiels majeurs engendrés par ce facteur de stress seraient la perte de superficie de la zone intertidale et l'érosion/accumulation de sédiment. Ces impacts peuvent avoir un effet direct sur la zone de fraie et d'alevinage du capelan et par conséquent, sur l'abondance de celui-ci. Il est intéressant de souligner que ces deux impacts (la perte de superficie de la zone intertidale et l'érosion/accumulation de sédiment) peuvent aussi avoir des effets indirects sur les PUM par les impacts secondaires qu'ils provoquent. En effet, ils pourraient tous deux entraîner la perte de qualité du substrat. L'érosion/accumulation peut également mener au colmatage qui, en retour, peut influencer le taux d'éclosion des œufs et la survie des larves.

La séquence particulière à la modification du régime hydrique montre que les impacts au niveau de la relation proie-prédateurs et de l'érosion/accumulation de sédiment seraient les effets majeurs attendus. Les impacts secondaires pourraient être la perte de qualité du substrat et le colmatage. Concrètement, la modification du régime hydrique peut aussi conduire à la perte d'habitat due à l'érosion ou à la modification de substrat.

Dans la séquence des effets de la modification de la température et de la salinité, il est noté que les impacts qui pourraient être engendrés sont directs et touchent la relation proie-prédateur, la malformation et/ou la survie des larves.

Pour ce qui est de la séquence des effets particulière à la modification des apports en matière organique et en nutriment, le schéma permet de faire ressortir que les malformations, le colmatage et la perturbation des relations proie-prédateur seraient les principaux impacts potentiels qui y sont associés directement. Cette séquence permet de faire ressortir le fait que l'apport massif de matière organique et de nutriments modifie la zone de fraie, la qualité du substrat et peut même conduire à la destruction de la zone pour les années à venir (MCI 2009a).

Enfin, selon les relations présentées dans la séquence spécifique à l'introduction de contaminants, les impacts potentiels directs qui seraient engendrés sont la malformation, la bioaccumulation et la toxicité. La toxicité elle-même pourrait provoquer une perturbation du taux de reproduction, du taux d'éclosion des œufs et du taux de survie des larves. De ce fait, les relations proie-prédateur pourraient aussi être affectées.

Il est à souligner que dans son ensemble ce modèle spécifique fournit une vision complète, mais complexe, de la situation. Par conséquent, il est difficile d'en interpréter tous les aspects. Malgré cet inconvénient, il demeure avantageux d'illustrer une problématique avec ce niveau de précision, principalement pour faire ressortir les enjeux potentiels spécifiques à un facteur de stress, pour mieux les connaître et pour les considérer lors de futures actions de gestion et de conservation. Pour considérer d'autres pistes d'analyse ou pour approfondir davantage ce premier modèle spécifique écologique, un complément d'information est présenté à l'Annexe 8.

3.3 MODÈLE SPÉCIFIQUE ÉCOLOGIQUE DE L'ABONDANCE

3.3.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments

Le deuxième modèle spécifique écologique permettra, pour sa part, d'étudier la séquence propre au paramètre ultime mesurable « Abondance du capelan » qui est intimement relié au facteur de stress humain « Prélèvement de la biomasse ».

Le schéma du modèle présenté à la Figure 5 montre que seules les activités de pêche impliqueraient un prélèvement direct de la biomasse de capelan. Ce secteur d'activités humaines inclut la pêche commerciale, la pêche à des fins alimentaire, sociale et rituelle (ASR), la pêche récréative et le prélèvement de biomasse par les prises accessoires dans les autres pêches. Dans les sections qui suivent, chacun de ces éléments est caractérisé et relié aux principaux impacts potentiels sur le PUM identifié, soit la diminution d'abondance ou de biomasse des géniteurs, la perturbation de la relation proie-prédateur (p. ex. moins de ressources pour les prédateurs),

l'érosion pouvant induire une perte de qualité du substrat et les changements possibles au niveau de la taille des individus provoqués par la sélection de certaines catégories de tailles par les pêches. Certains facteurs modulateurs potentiels d'origine anthropique ou naturelle sont également représentés : le cycle de vie, la gouvernance et le marché. Comme pour le modèle écologique précédent, les avis scientifiques viennent décrire le PUM « Abondance du capelan » en évaluant chaque année l'état du stock de capelan dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent et en formulant des recommandations pour sa préservation.

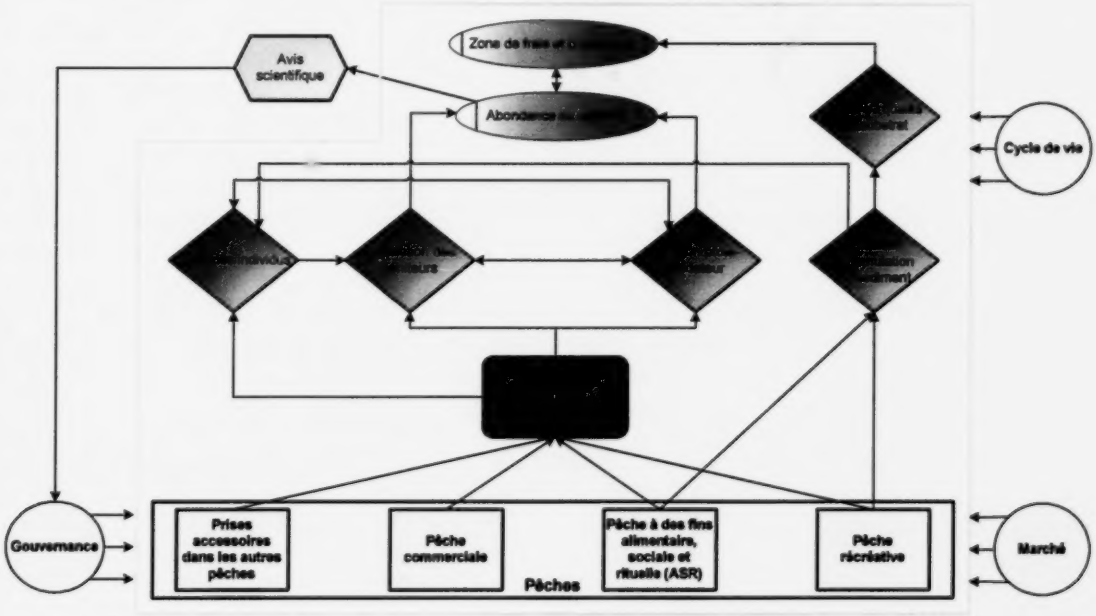


Figure 5. Modèle spécifique écologique de la séquence des effets sur l'abondance du capelan.

3.3.1.1 Pêche commerciale : la pêche commerciale au capelan est pratiquée à l'intérieur de l'aire d'étude et contribue ainsi au prélèvement de la biomasse. Les engins utilisés pour cette pêche sont la senne bourse, la trappe et la fascine (Grégoire *et al.* 2008). Les saisons de pêche sont généralement de courtes durées, soit de mai à juillet selon les régions. Elles s'effectuent à la période précédant la fraie pour la pêche à la senne bourse et pendant la période de fraie pour la pêche à la trappe et à la fascine (MPO 2008b). La plupart des débarquements de capelan dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sont associés à une pêche à la senne bourse pratiquée sur la côte ouest de Terre-Neuve (division 4R de l'Organisation des pêches dans l'Atlantique du Nord-Ouest [OPANO]) (Grégoire 2004). Sur la Basse-Côte-Nord du Québec, les pêcheurs utilisent principalement la trappe, tandis que, dans l'estuaire du Saint-Laurent, le capelan est pêché surtout à l'aide de fascines (respectivement les divisions OPANO 4S et 4T) (MPO 2008b). La pêche à la senne bourse et à la trappe est dirigée vers les femelles matures pour les œufs qui sont exportés et utilisés comme caviar (massago) (Dumont et Provost 2008).

Depuis 2005, un Total Admissible des Captures (TAC) de 11 200 t est accordé à la division 4R (côte ouest de Terre-Neuve) et de 1 800 t pour l'ensemble des divisions 4ST (estuaire et golfe du Saint-Laurent) (MPO 2008b). La production de farine et l'arrivée d'un lucratif marché japonais

pour la femelle œuvée à la fin des années 1970 ont permis à la pêche commerciale de se développer rapidement dans le golfe du Saint-Laurent. D'une moyenne annuelle de près de 700 t entre 1960 et 1976, les débarquements dans le golfe sont passés très rapidement à près de 10 000 t par année après 1978 (Grégoire 2004). Depuis 2006, les débarquements ont toujours été supérieurs à 10 000 t (record de 11 833 t en 2006) à l'exception de 2007 où les débarquements ont totalisé 7 900 t, dû probablement à une réduction des captures dans les parties plus au sud de la côte ouest de Terre-Neuve (MPO 2008b).

3.3.1.2 Pêche récréative : la pêche récréative au capelan se pratique sur certaines des plages de l'aire d'étude lors de la période de fraie du capelan (décrite à la Section 2.2.2) qui dure généralement de 4 à 6 semaines. L'épuisette, le seau et même les mains sont utilisés pour récolter le capelan (Giroux *et al.* 2008). Aucune évaluation de la quantité de capelan ainsi prélevé n'est réalisée, mais les prises seraient minimes en comparaison à la pêche commerciale (François Grégoire, MPO, comm. pers.). Cependant, même sans cette activité, la majorité des mâles meurent (près de 100 %) après avoir frayé et seulement quelques femelles survivent (MPO 2008b).

3.3.1.3 Pêche à des fins alimentaire, sociale et rituelle (ASR) : la pêche ASR au capelan est une activité traditionnelle et unique en son genre. Elle nécessite peu d'organisation et persiste encore à ce jour à l'intérieur de l'aire d'étude. Cette sous-activité a été considérée dans le modèle bien qu'il soit difficile d'évaluer les quantités prélevées, comme c'est aussi le cas pour la pêche récréative. Ce type de pêche au capelan semble ne prélever qu'une très faible proportion de la biomasse (François Grégoire, MPO, comm. pers.).

À chaque printemps sur les côtes de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, des centaines de personnes de tous âges se réunissent le soir et attendent que le capelan « roule ». Cette activité est un phénomène unique tant du point de vue biologique que social (Dumont et Provost 2008). Traditionnellement, le capelan était utilisé comme engrais pour les champs, comme appât pour la pêche, comme nourriture pour les chiens d'attelage, pour la trappe des animaux à fourrures ou l'élevage de renards, pour fabriquer de la farine de poissons ou, tout simplement, pour la consommation humaine (frais ou salé) (Grégoire 2004, Dumont et Provost 2008). Les autochtones de la Côte-Nord du Québec consomment le capelan depuis très longtemps et ses habitudes de fraie sont bien connues par ceux-ci (Giroux *et al.* 2008).

3.3.1.4 Prises accessoires dans les autres pêches : dans l'aire d'étude, il apparaît que le capelan est une prise accessoire courante de la pêche à la crevette nordique (*Pandalus borealis*). Les prises de capelan par des crevettiers peuvent être importantes, particulièrement au printemps (Grégoire 2004). Selon les données du Programme des observateurs de Pêches et Océans Canada, les prises de capelan par les crevettiers sont passées de 877 t en 1993 à un minimum de 113 t en 1996. Les prises de capelan ont fluctué par la suite pour des valeurs variant entre 110 t (2007) et 536 t (2009) (MPO 2011). La plupart de ces prises ont été réalisées dans la zone de gestion de la pêche à la crevette de Sept-Îles (Grégoire *et al.* 2008) sauf en 1993, 1996, 2001, 2002, 2008 et 2009 où elles ont été réalisées dans la région d'Esquiman ou d'Anticosti (MPO 2011). Ces prises accessoires sont rejetées (Grégoire et Hurtubise 1996). Bien que le volume soit plutôt faible, des prises accessoires de capelan peuvent également survenir dans la pêche au hareng (Jangaard 1974, Services des statistiques, MPO, données non publiées).

3.3.2 Description et interprétation

Ce deuxième modèle spécifique écologique a une apparence plus simple que le premier, principalement en raison de la nature du facteur de stress « Prélèvement de la biomasse » qui est moins complexe. En effet, dans le cas du capelan, ce facteur semble être engendré par une seule activité humaine, soit la pêche. Par conséquent, le nombre d'impacts et de relations entre chacun des éléments est réduit, ce qui facilite l'interprétation de l'ensemble du modèle. Aussi, et contrairement au modèle précédent, il n'apparaît pas nécessaire de subdiviser ce facteur de stress.

Un des principaux points à retenir du modèle est que chacune des activités de pêche implique, à différents niveaux, un prélèvement direct de la biomasse de capelan et, par conséquent, a un effet direct sur la mortalité de l'espèce en fonction de l'intensité de l'effort de pêche en question. Cependant, selon l'estimation actuelle, le taux de mortalité du capelan dû aux pêches ne représenterait qu'une faible proportion de la mortalité totale du capelan, incluant les causes naturelles (prédation [voir Section 3.4] et autres causes naturelles de décès [p. ex. maladie, vieillesse]).

Le modèle montre aussi que les pêches de type récréatif et ARS peuvent engendrer de l'érosion en raison de certaines particularités propres à ces opérations de pêche. En effet, elles impliquent souvent l'utilisation de véhicules hors route (VHR) directement sur les plages. Le passage répété de VHR détruit la végétation en place, contribuant ainsi à accélérer le phénomène d'érosion et possiblement à entraîner une perte de qualité du substrat. La perte d'habitat propice à la reproduction du capelan peut conduire à la désertion des plages par l'espèce (Dumont et Provost 2008) et ainsi influencer l'abondance des populations. Aussi, le labourage du bas de plage par le passage des VHR contribuerait à découvrir les œufs ou même à les détruire (Hans-Frédéric Ellefsen, MPO, comm. pers.).

Le modèle présente également les liens existants entre le prélèvement de la biomasse et ses impacts directs potentiels, soit la diminution des géniteurs, les perturbations des relations proie-prédateur et la diminution de la taille des individus. Selon Dufour et Ouellet (2007), les activités de pêche peuvent fortement influencer la structure et le fonctionnement de l'écosystème en modifiant les relations de compétition et de prédation entre les espèces. Par exemple, toute augmentation de la mortalité du capelan par la pêche pourrait entraîner une diminution de la biomasse disponible pour les prédateurs. Toutefois, considérant les taux d'exploitation actuels, il semble peu probable que les captures limitent la disponibilité du capelan (MPO 2008c). À l'opposé, toute diminution de la biomasse de prédateurs suite à la pêche pourrait réduire la pression de prédation subie par le capelan et ainsi favoriser l'accroissement des populations (Worm et Myers 2003, Savenkoff *et al.* 2007a). Enfin, bien que l'impact de la pêche sur la taille des individus soit difficile à établir pour le capelan, il a été prouvé pour d'autres espèces pêchées commercialement que la diminution des moyennes de longueur des individus d'un stock existe lorsque l'effort de pêche est élevé (Trites *et al.* 2006).

Le modèle présente aussi des liens entre les avis scientifiques, l'abondance de l'espèce et la gouvernance. À titre d'exemple, les mesures de gestion mises en place par le MPO (gouvernance) visent l'utilisation durable des ressources en prenant en considération, entre autres, l'état des stocks fourni par les avis scientifiques. Pour autre exemple, l'avis scientifique

peut lui-même augmenter l'effet du facteur modulateur sur l'activité humaine, et par conséquent sur le facteur de stress, par l'établissement de TAC trop élevés. Présentement, le TAC du capelan se situe à des niveaux faibles par rapport aux estimations de la population (Grégoire *et al.* 2008, MPO 2008b). Comme il n'existe aucun relevé d'abondance dirigé spécifiquement sur le capelan, il est, par conséquent, impossible de calculer une biomasse absolue pour le stock de capelan et donc d'évaluer la mortalité réelle causée par la pêche (MPO 2008b).

Finalement, le marché est un autre facteur modulateur qui peut influencer l'effort de pêche. Concrètement, la demande actuelle pour la chair du capelan est grandissante, ce qui stimule l'intérêt de l'industrie face à l'augmentation des captures.

3.4 MODÈLE SPÉCIFIQUE ÉCOLOGIQUE DU RÉSEAU TROPHIQUE

3.4.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments

Le troisième modèle spécifique écologique présente le réseau trophique associé au capelan (adultes et juvéniles de grande taille). Il permet de préciser et de détailler les relations entourant un des impacts identifiés dans le modèle spécifique écologique de l'abondance du capelan, soit l'impact « Relation proie-prédateur ». Basé sur les modèles écosystémiques du Golfe (CEEDNA 2003, Savenkoff *et al.* 2004, 2007a, 2007b, 2009), ce schéma décrit les principales interactions trophiques associées au capelan (principaux prédateurs, compétiteurs et proies du capelan). La nécessité de créer un tel modèle s'explique par i) l'importance clé du capelan dans l'écosystème du golfe du Saint-Laurent et par ii) les variations de son abondance principalement dues à des facteurs d'ordre naturel, la plus importante cause de mortalité chez le capelan étant la prédation (Grégoire *et al.* 2008).

Bien que la description des interactions proies-prédateurs associées au capelan soit réalisée suivant la théorie des modèles SdE, le schéma de la Figure 6 est cependant adapté aux particularités du modèle lui-même. Les principaux facteurs de stress naturels qui influencent le réseau trophique du capelan sont : i) la disponibilité des ressources alimentaires (ses principales proies), ii) la compétition pour ces ressources (ses principaux compétiteurs) et iii) la prédation (ses principaux prédateurs). Ces facteurs sont décrits ci-dessous et des informations complémentaires concernant l'impact des relations proies-prédateur sont fournies à l'Annexe 7.

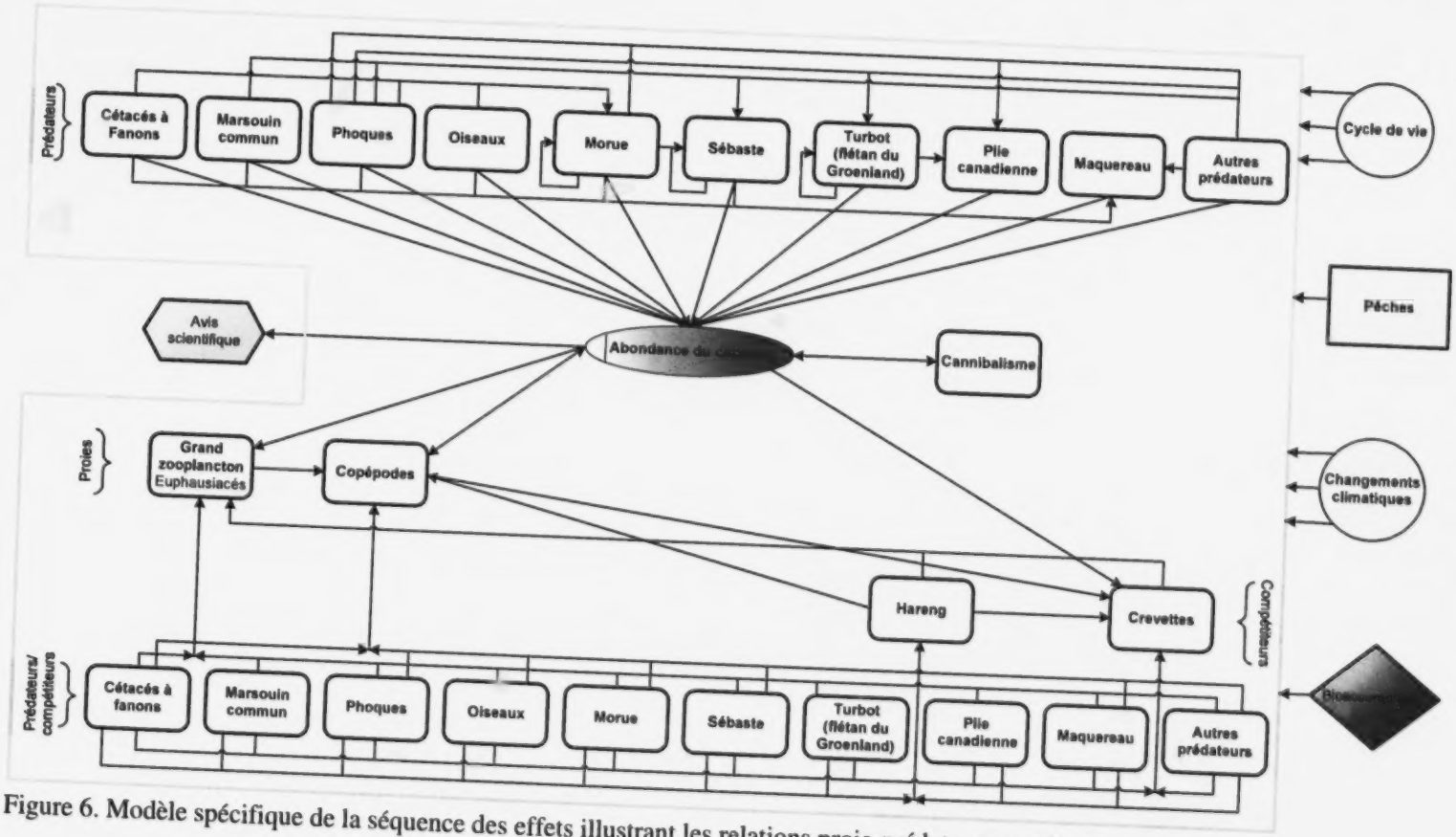


Figure 6. Modèle spécifique de la séquence des effets illustrant les relations proie-prédateur associées au capelan.

3.4.1.1 Principales proies du capelan : il existe peu d'informations récentes publiées sur l'alimentation du capelan. Plusieurs études ont montré que ce dernier se nourrissait principalement de zooplancton (p. ex. copépodes, euphausiacés, amphipodes) (Jangaard 1974, Vesin *et al.* 1981, Pitcher *et al.* 2002, Bundy 2004, D. Chabot, MPO, données non publiées). En 2003, des analyses de contenus stomacaux ont été réalisées pour l'estuaire et le nord du Golfe (D. Chabot, MPO, données non publiées). Les résultats ont permis d'effectuer une distinction régionale des proies zooplanctoniques ingérées par le capelan. Ainsi, les euphausiacés constituaient 100 % de l'alimentation du capelan dans l'estuaire, 63 % dans le nord du Golfe (amphipodes hypéridés et copépodes : 33 % et 4 % respectivement) et seulement 19 % à l'ouest de Terre-Neuve (amphipodes hypéridés et copépodes : 4 % et 76 % respectivement). Par ailleurs, la proportion de poissons dans l'alimentation du capelan semble faible (< 4 %) et représente surtout du cannibalisme (Savenkoff *et al.* 2004, 2009). Il est aussi reconnu que l'activité alimentaire du capelan varie selon la saison. Ainsi, au moment de la fraie, elle cesse complètement, puis reprend graduellement par la suite.

3.4.1.2. Principaux compétiteurs du capelan : selon les modèles écosystémiques réalisés pour le nord (période de 2003 à 2005) et le sud (période de 1994 à 1996) du golfe du Saint-Laurent par Savenkoff *et al.* (2007b, 2009), le capelan serait le principal poisson prédateur du zooplancton. Outre le capelan, les autres prédateurs importants du zooplancton seraient, pour le nord du Golfe, les crevettes (surtout la crevette nordique [*Pandalus borealis*]), les poissons pélagiques (surtout le hareng [*Clupea harengus*], le maquereau [*Scomber scombrus*], le lançon [*Ammodytes* spp.]) et le sébaste (*Sebastes* spp.) (CDEENA 2003, Savenkoff *et al.* 2009). Dans le sud du Golfe, la situation diffère légèrement, alors que les principaux prédateurs du zooplancton seraient les poissons pélagiques (hareng et maquereau), la morue, la plie canadienne (*Hippoglossoides platessoides*) et les crevettes. Dans l'ensemble du Golfe, le zooplancton effectue également une importante pression de prédation sur lui-même, par le cannibalisme ou encore par la prédation des grandes espèces (p. ex. euphausiacés, amphipodes) sur les plus petites (p. ex. copépodes) (CDEENA 2003, Savenkoff *et al.* 2007a, 2007b, Marion *et al.* 2008).

Ainsi, même si le capelan est l'un des principaux prédateurs du zooplancton dans les écosystèmes du golfe du Saint-Laurent, il est en compétition avec des organismes de tous les niveaux trophiques, supérieurs comme inférieurs, pour sa ressource alimentaire principale. Ses principaux compétiteurs sont cependant le hareng et les crevettes (surtout la crevette nordique pour le nord du Golfe). Des travaux ont montré que, les années où le hareng est massivement présent dans la Mer de Barents, les populations de capelans semblent fortement affectées (Hopkins et Nilssen 1991, Olsen *et al.* 2009). Deux facteurs pourraient expliquer ces tendances inverses, soit la prédation des larves de capelans par les harengs et la compétition pour la nourriture. Les différents compétiteurs pourraient influencer la disponibilité ou l'accessibilité de la ressource alimentaire pour le capelan et ainsi avoir un impact sur son abondance dans le Golfe.

3.4.1.3 Principaux prédateurs du capelan : à l'exception des proies planctoniques, le capelan était la principale proie de l'écosystème du nord du golfe du Saint-Laurent entre le milieu des années 1980 et le milieu des années 2000, alors qu'il représentait, en moyenne, environ 50 % de l'ensemble de la matière consommée dans l'écosystème (Savenkoff *et al.* 2007a). Les modèles écosystémiques récents (période de 2003 à 2005) rapportent que près de 430 000 t de capelan étaient consommées annuellement par ces principaux prédateurs, soit les

cétacés, le phoque du Groenland (*Phoca groenlandica*) et le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*). À la suite de l'expansion de la distribution du capelan dans le sud du Golfe à partir du milieu des années 1990 (Grégoire *et al.* 2005), cette espèce est devenue la principale proie du système (environ 30 % de l'ensemble de la matière consommée), lorsque les proies planctoniques sont exclues (Savenkoff *et al.* 2007b). Ses principaux consommateurs, selon le modèle écosystémique pour la période de 1994 à 1996, étaient le phoque du Groenland, les petits poissons piscivores (surtout le maquereau), la morue adulte, le phoque gris (*Halichoerus grypus*) et les cétacés (surtout le petit rorqual [*Balaenoptera acutorostrata*] et le marsouin commun [*Phocoena phocoena*]) (Savenkoff *et al.* 2007b). Finalement, dans l'ensemble du Golfe, l'impact de la pêche sur le capelan était très limité par comparaison à la prédation.

3.4.2 Description et interprétation

Le modèle spécifique écologique du réseau trophique (Figure 6) illustre les liens entre les organismes (proies, compétiteurs ou prédateurs) qui ont le potentiel d'influencer directement ou indirectement les variations d'abondance du capelan. Il en ressort que les principaux prédateurs du capelan pour l'écosystème du golfe du Saint-Laurent, en plus de consommer du capelan, sont des compétiteurs potentiels pour sa nourriture et vont également s'influencer mutuellement (p. ex. le phoque du Groenland consomme de la morue, le cannibalisme chez la morue). Par ailleurs, les changements d'abondance des prédateurs (et donc de la pression de prédation) peuvent entraîner des changements de distribution des proies. Mowbray (2002) a suggéré que l'utilisation des couches plus profondes de la colonne d'eau par les capelans de Terre-Neuve depuis 1991 était occasionnée par la réduction massive de leur principal prédateur, la morue, plutôt que par une hausse des populations de poissons pélagiques dans cette région. Les interactions trophiques associées au capelan peuvent être affectées par plusieurs facteurs, incluant i) des variations dans le cycle de vie et la productivité du capelan et des autres espèces du réseau trophique, ii) les facteurs environnementaux agissant sur la distribution, iii) la contamination et son transfert trophique (bioaccumulation) dans l'écosystème ainsi que iv) les pêches. Ces facteurs peuvent également influencer l'abondance du capelan et par conséquent la formulation d'un avis scientifique concernant son évaluation.

Ce type de modèles permet au gestionnaire de constater qu'une action posée sur une autre espèce que le capelan pourrait tout de même affecter la conservation de celui-ci en raison du lien trophique qui peut les unir.

3.5 MODÈLE SPÉCIFIQUE SOCIO-ÉCONOMIQUE ET CULTUREL DE LA ZONE DE FRAIE ET D'ALEVINAGE

3.5.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments

Le premier modèle spécifique socio-économique et culturel permet de présenter plus en détail les relations potentielles entourant les biens et services fournis par la zone de fraie et d'alevinage et les conséquences éventuelles que l'altération de cette zone, ou encore que la mise en place de mesures de gouvernance sur cette zone, pourraient avoir sur l'économie et sur les différentes valeurs sociales et culturelles. Selon le concept des biens et services produits par l'écosystème

(EM 2003), la zone de fraie et d'alevinage offre des services d'approvisionnement et/ou culturels à l'humain, supportant ainsi le cycle économique et le bagage culturel de ceux qui les utilisent.

Le schéma du modèle, présenté à la Figure 7, montre les deux services fournis par l'écosystème ainsi que la seule dépendance humaine qui serait directement reliée au PUM, soit les activités récréotouristiques. Les dépendances directes et indirectes ainsi que les différentes conséquences qui en découlent sont également représentées. Les sous-sections suivantes (3.3.1.1 et 3.3.1.2) présentent les principales informations recueillies pour les biens et services de l'écosystème du modèle.

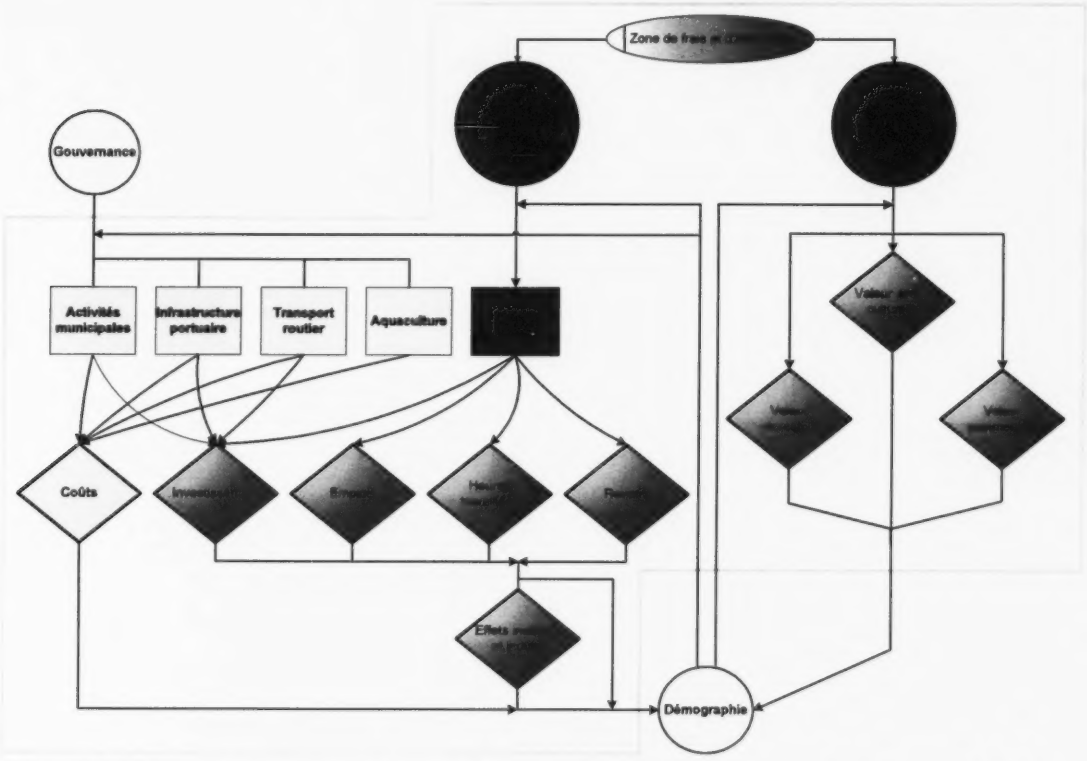


Figure 7. Modèle spécifique socio-économique et culturel de la séquence des effets reliés à la zone de fraie et d'alevinage.

3.5.1.1 Services de l'approvisionnement : au Québec, le capelan n'est pas une espèce commerciale d'importance. En 2008, la valeur des débarquements de capelan était de 240 380 $ pour environ 25 pêcheurs, en plus des aides-pêcheurs (Services des statistiques, MPO, données non publiées). Ces pêcheurs, principalement situés sur la Côte-Nord, font des débarquements annuels de 30 000 $ en moyenne, dont le tiers provient du capelan. Bien qu'actuellement seulement 3 pêcheurs en soient entièrement dépendants (plus de 75 % de leurs débarquements proviennent du capelan) et que 4 pêcheurs en débarquent pour plus de 15 000 $ annuellement, la pêche au capelan permet souvent à certains pêcheurs et aides-pêcheurs de joindre les deux bouts ou d'obtenir suffisamment d'heures pour l'assurance-emploi. Toutefois, depuis quelques années,

il semble y avoir une augmentation de la demande de permis de pêche au capelan en raison de la baisse des prises des autres poissons pélagiques. Aussi, trois ou quatre usines transforment le capelan sur la Côte-Nord (Services des statistiques, MPO, données non publiées). Enfin, il est important de mentionner que les poissons de fond exploités commercialement ont une alimentation composée en partie de capelan. Ainsi, indirectement, la population de capelan offre un revenu à plusieurs pêcheurs de poissons de fond et assure le maintien de populations de certains mammifères marins, primordiales à l'industrie du tourisme de la région.

3.5.1.2 Services culturels : plusieurs rites, coutumes, activités ou traditions sont reliés au capelan, particulièrement pour les habitants de la Côte-Nord, mais également en Gaspésie. Dumont et Provost (2008) présentent les témoignages des populations plus âgées de la Côte-Nord, démontrant l'importance de cette espèce pour cette tranche de la population. Encore aujourd'hui, le capelan est associé aux feux sur la plage et aux soirées passées à festoyer (Dumont et Provost 2008). Les premières mentions du capelan dans un texte de la Côte-Nord remontent à 1850, alors que des textes plus anciens existants proviennent de Terre-Neuve (Dumont et Provost 2008). Le capelan a été utilisé à diverses fins depuis plusieurs générations, particulièrement par les habitants de la Côte-Nord, il possède une valeur patrimoniale (Section 3.3.1.3). Les souvenirs d'enfance associés à la pêche au capelan sont importants, puisqu'ils servent à enraciner l'identité nord-côtière reliée à la pêche. Le capelan est souvent le premier poisson que les Nord-Côtiers vont ramasser dès leur plus jeune âge. Le contexte de cet événement est particulièrement marquant (sur la plage, le soir ou la nuit) pour les jeunes enfants (Dumont et Provost 2008). La valeur socioculturelle du capelan est donc importante pour les habitants de la Côte-Nord.

3.5.2 Description et interprétation

Ce premier modèle spécifique socio-économique et culturel illustre le contexte des dépendances humaines par rapport à la ressource et aux plages à capelan et les répercussions possibles des méthodes de gouvernance associées à la zone de fraie et d'alevinage sur certaines activités humaines. Ce modèle socio-économique et culturel est, par conséquent, un complément au premier modèle écologique, nécessaire à l'obtention d'un portrait global de la situation entourant le PUM ciblé.

Parmi les principaux points du modèle, il apparaît qu'une éventuelle variation de l'approvisionnement pourrait influencer les industries affectées directement, ici les activités récréotouristiques. Ce qui peut avoir, en retour, des conséquences mesurables sur l'économie locale en influençant l'emploi, les investissements, les heures travaillées ou encore les revenus. Ces conséquences peuvent par la suite se répercuter sur d'autres secteurs d'activités, provoquant ainsi des effets indirects et induits (p. ex. une diminution des revenus d'un ménage pourrait provoquer une diminution des dépenses de ce même ménage dans les commerces de la région).

Des facteurs modulateurs comme la gouvernance, par la mise en place de mesures de gestion ou de conservation relatives aux zones de fraie et d'alevinage, peuvent avoir des conséquences directes ou indirectes sur certaines industries. À la suite d'une éventuelle mise en place de telles mesures, les industries affectées pourraient devoir modifier leurs activités et leurs opérations de façon considérable, ce qui aurait pour conséquence d'entraîner des coûts supplémentaires ou de

nouveaux investissements. À titre d'exemple, une mesure de conservation pourrait toucher les activités municipales de plusieurs façons, soit par la modification d'infrastructures déjà en place, par la modification de certaines méthodes de gestion (p. ex. gestion des neiges usées ou encore du développement urbain), par la modification de la réglementation municipale existante ou par la mise en place de nouvelles infrastructures (coûts de construction et d'entretien de structures de protection du littoral).

Aussi, la démographie locale, un autre facteur modulateur, est incluse au modèle. Les services fournis par la ressource, en participant ou non à la richesse et à la diversité du portrait socio-économique et culturel régional, peuvent influencer la population à rester ou à quitter une région selon les cas. À titre d'exemple, une région dont les activités économiques ou la cohésion sociale sont plus faibles pourrait voir sa population diminuer. Cette situation pourrait, à son tour, engendrer une dégradation des activités économiques ou de la cohésion sociale. Cette boucle rétroactive est représentée sur le schéma du modèle.

Enfin, ce modèle tient également compte des services culturels offerts par la ressource et de leurs conséquences sur les valeurs récréatives, socioculturelles et patrimoniales qui y sont associées. Les plages à capelan sont des lieux fréquentés et importants aux yeux des habitants de la zone d'étude, particulièrement ceux de la Côte-Nord et de la Gaspésie (Section 3.3.1.2). Souvent, les valeurs mentionnées sont à la base des divers usages de ces lieux et se traduisent par un attachement, un respect et une certaine spiritualité associés à la ressource par les communautés. Une modification de la zone de fraie et d'alevinage, de même que ses effets indirects sur l'abondance du capelan, viendraient ultimement modifier ces valeurs. Contrairement aux conséquences reliées aux biens et services de l'approvisionnement, les conséquences sur les valeurs associées aux services culturels sont plus difficilement quantifiables, ce qui rend difficile de juger de leur importance au niveau économique.

3.6 MODÈLE SPÉCIFIQUE SOCIO-ÉCONOMIQUE ET CULTUREL DE L'ABONDANCE

3.6.1 Présentation du modèle et de ses principaux éléments

Le second modèle spécifique socio-économique et culturel (Figure 8) présente en détail les relations potentielles entre les biens et services fournis par l'« Abondance du capelan » et les conséquences que la perte et l'altération de ce PUM, ou la mise en place de mesures de gouvernance le concernant, pourraient engendrer sur l'économie et sur les différentes valeurs sociales et culturelles qui y sont associées.

Ce modèle monte que l'abondance du capelan est reliée directement à plusieurs industries, ici la transformation du capelan et d'autres espèces, la pêche au capelan et aux autres espèces et les activités récréotouristiques. Ces industries interagissent parfois entre elles et ont ultimement un lien avec chacune des différentes conséquences économiques potentielles identifiées (investissement, emplois, revenu, heures travaillées et effets indirects et induits), ce qui ajoute à la complexité visuelle du modèle, sans toutefois en alourdir significativement l'interprétation.

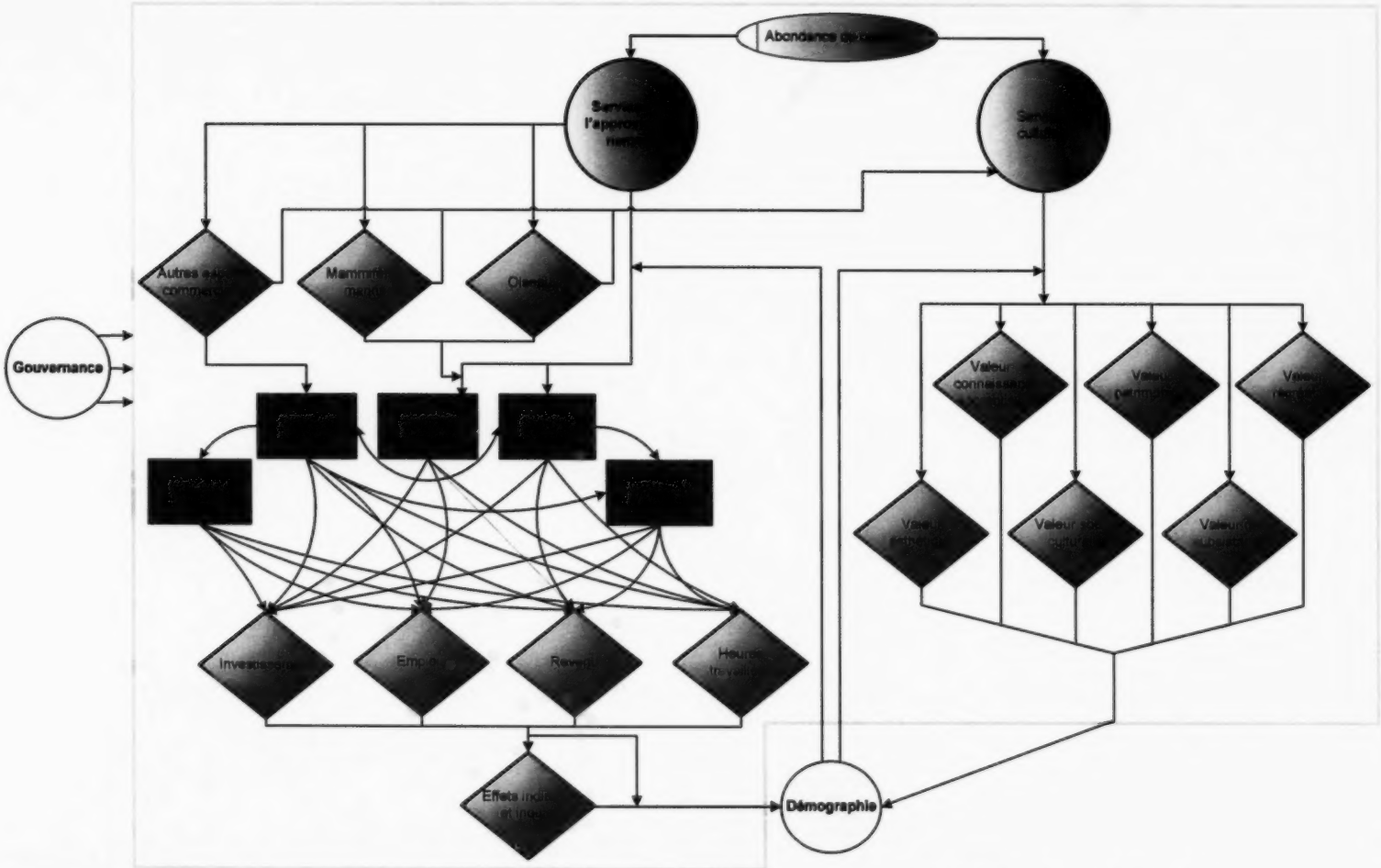


Figure 8. Modèle spécifique socio-économique et culturel de la séquence des effets associés à l'abondance du capelan.

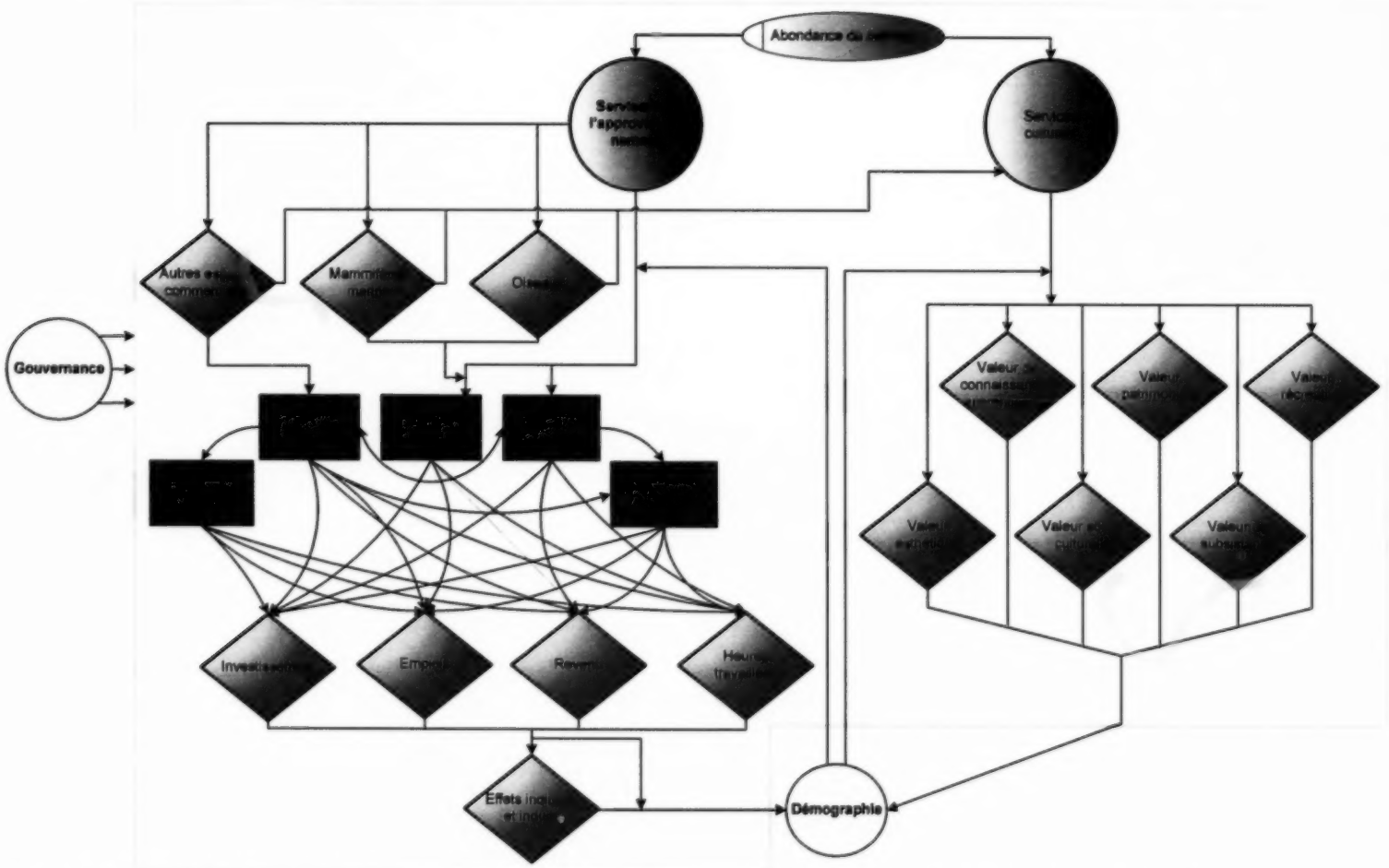


Figure 8. Modèle spécifique socio-économique et culturel de la séquence des effets associés à l'abondance du capelan.

L'abondance du capelan offre des services d'approvisionnement et culturels dont le rôle de support au cycle économique et au bagage culturel a été présenté aux Sections 3.5.1.1 et 3.5.1.2. Le modèle présente donc les conséquences potentielles qu'une modification de ces services pourrait avoir sur différentes valeurs culturelles et sociales et sur diverses industries, ainsi que sur la présence d'autres espèces commerciales, de mammifères marins et d'oiseaux desquels dépendent certains secteurs d'activités humaines. Ici aussi, les facteurs modulateurs capables d'influer sur le portrait de la situation, la gouvernance et la démographie, sont illustrés.

3.6.2 Description et interprétation

Comme pour le premier modèle, les informations contenues dans cette SdE peuvent être analysées selon deux optiques. D'un côté, il ressort que l'abondance du capelan offre des services à la société, qui en profite et en dépend. D'un autre côté, cela implique aussi que les changements qui surviennent au niveau de l'abondance de la ressource, qu'ils soient induits par la gouvernance pour la conservation du capelan ou non, sont aussi subis par la société. De façon plus concrète, ces services permettent la création d'emplois et assurent un salaire aux employés des industries affectées directement. Un certain roulement de l'économie est associé à cette ressource, ce qui se traduit par des impacts indirects et induits. À l'inverse, les mesures de gestion mises en place peuvent avoir un impact sur la rentabilité de certaines entreprises, par exemple en imposant des quotas de pêche, une augmentation du coût des appâts ou une modification des périodes de pêche. Comme dans le cas mentionné à la Section 3.5.2, une modification des services de l'écosystème pourrait avoir, ici aussi, un impact sur la démographie qui aurait, rétroactivement, un impact sur les industries et ainsi de suite.

Il est intéressant de souligner que les principales mesures de gouvernance qui s'appliquent à l'abondance sont celles mises en place par le gouvernement et qui visent la préservation de la ressource selon les avis scientifiques, soit les TAC. Ces mesures ont certainement un effet sur la suite de la séquence telle que représentée à la Figure 8. Cette gouvernance peut donc influencer certaines industries, qu'elles soient dépendantes ou non du capelan. Parmi ces industries, il est intéressant de noter que la pêche au capelan et les activités récréotouristiques seraient les seules à être reliées directement au service de l'approvisionnement. À titre d'exemple, certaines activités touristiques, comme des festivals et des rassemblements sur les plages, dépendent directement de la quantité de capelan qui fraie sur une plage. Aussi, seules les activités récréotouristiques seraient associées à l'abondance du capelan par le biais des mammifères marins et des oiseaux. Comme expliqué à la Section 3.5.1.1, ceci s'explique par le fait que le capelan est une source de nourriture importante pour plusieurs espèces de mammifères marins et d'oiseaux marins. Ces animaux sont à la base de certaines activités récréotouristiques (p. ex. observation de la faune) et de services culturels importants pour les régions où se retrouve le capelan.

Les activités de transformation, généralement faites en usine, sont intimement liées aux activités de pêche. Une variation dans l'abondance du capelan peut entraîner une modification de la demande, entraînant une variation de cette transformation pour le capelan ou pour les espèces substituts. La quantité de capelan disponible peut aussi avoir un impact sur les autres pêcheries. À titre d'exemple, l'influence peut être positive lorsqu'il est utilisé comme source de nourriture pour les autres espèces commerciales. Les prises accessoires de capelan peuvent également survenir (Section 3.3.1.4).

Le modèle présente aussi les conséquences potentielles propres aux services culturels en montrant les valeurs touchées (esthétique, de connaissance/apprentissage, socioculturelle, patrimoniale, de subsistance et récréative). Les liens présentés traduisent les informations mentionnées à la Section 3.3.1.2. À titre d'exemple, la cuisine traditionnelle et la connaissance de l'écosystème marin en général (Dumont et Provost 2008) sont deux des composantes culturelles qui seraient possiblement affectées directement par l'abondance du capelan. La valeur esthétique associée, entre autres, à la présence d'oiseaux et de mammifères marins permettrait de développer une industrie touristique et d'améliorer les conditions de vie des résidents. Certains autres événements reliés à la présence de capelan, comme par exemple « Le Frolic du capelan » un important festival tenu de 1978 à 1992, peuvent même avoir un impact culturel potentiel de grande envergure.

Ce schéma offre plusieurs avenues d'analyse. Grâce à lui, il est possible de cerner les avantages que l'abondance de cette ressource peut procurer à la société. Il permet aussi de faire ressortir les impacts probables d'une modification de l'abondance du capelan, par la gouvernance ou non, sur l'ensemble des dépendances et conséquences économiques, sociales et culturelles qui y sont associées. Aussi, il peut être combiné au deuxième modèle spécifique écologique présenté à la Section 3.5 de façon à dresser un portrait plus global de la SdE relative au PUM « Abondance du capelan ». Ce tableau écologique, économique social et culturel offre une vision détaillée complémentaire à celle du modèle holistique.

4.0 DISCUSSION

Chacun de ces modèles a répondu aux exigences des lignes directrices de la SdE en représentant différents volets de la problématique et des niveaux de détails variés. Ils ont aussi permis de constater que ce type d'outil d'aide à la prise de décision est pertinent et utile lors de l'identification et la formulation de la problématique, la première étape de l'analyse de risque. En effet, lors de l'exercice de réalisation des SdE, le sujet d'étude a été cerné et les besoins ont été ressortis, permettant ainsi d'établir adéquatement les enjeux reliés à la conservation du capelan. Les schémas et la revue de littérature scientifique ont, pour leur part, contribué grandement à la formulation de la problématique. La phase I a aussi permis de mieux comprendre la mécanique des modèles de séquence des effets et d'utiliser l'outil dans le cadre d'une situation réelle. Elle a aussi contribué à déceler certaines limites du processus d'élaboration des modèles et à formuler des recommandations pour en améliorer les résultats.

Parmi les limites identifiées, il ressort en premier lieu que l'efficacité des modèles est grandement dépendante de la qualité et de la quantité de l'information recueillie. Pour cette raison, il est recommandé de consacrer les ressources nécessaires à cette étape de la méthodologie. Malgré cela, il est possible que certaines lacunes relatives à l'information demeurent, mais la réalisation de la SdE permet de les identifier ce qui peut guider l'acquisition des futures connaissances. Dans cette optique et pour le capelan, il serait important de combler le manque de connaissances concernant l'abondance, le cycle de vie, les facteurs environnementaux influençant les patrons annuels de migration et les aires de fraie et d'alevinage (nombre, localisation et taille des frayères) du capelan (Grégoire *et al.* 2008). Concernant ce dernier point, des travaux sont en cours pour déterminer les paramètres d'une bonne plage de fraie à capelan dans le golfe du Saint-Laurent (François Grégoire, MPO, comm.

pers.). D'autres informations relatives aux activités humaines, aux facteurs de stress et aux impacts devraient aussi être complétées de façon à valider entièrement la pertinence de l'ensemble des liens de cause à effet présentés dans les différents modèles. Aussi, il est important de souligner que la qualité et la quantité des données et, par conséquent, les résultats sont influencés par les différents choix faits en cours de projet (p. ex. choix de l'aire d'étude, choix de l'espèce, niveau de détail désiré).

En deuxième lieu, il est important de mentionner que la représentation d'une SdE résulte de la synthèse, du traitement et de l'interprétation de l'information. Certaines informations sont extrapolées, d'autres adaptées ou rejetées. De plus, bien que les SdE soient basées sur la littérature scientifique, il demeure qu'une partie du processus relève du jugement des concepteurs et est, par conséquent, arbitraire. Au final, et quel que soit le sujet de l'analyse de risque, l'objectif est de représenter le plus fidèlement possible l'ensemble d'une problématique ciblée. Les modèles produits doivent toutefois être considérés comme flexibles. Ils peuvent être retravaillés, améliorés et présentés différemment selon les situations et selon l'acquisition de nouvelles connaissances ou de données. C'est pourquoi il n'existe pas de modèle unique pour représenter une problématique donnée.

Les SdE ont un rôle de représentation, de synthèse et de communication de l'information et elles devraient permettre de guider les intervenants, même d'horizons variés, lors de la prise de décision. Les SdE ne sont pas conçues pour fournir une information quantitative qui permettrait d'accorder une valeur aux différents liens, mais peuvent tout de même fournir une illustration d'effets cumulatifs (p. ex. le nombre de liens entourant un même élément de la SdE). Le besoin de quantifier l'information fournie par les modèles guidera les étapes subséquentes de l'analyse de risque, en particulier l'évaluation du risque. Cette étape à venir permettra, entre autres, de quantifier le risque associé aux différentes interrelations entre les éléments de la SdE et, par la suite, de les utiliser concrètement lors de l'étape de gestion du risque. Par exemple, chiffrer la valeur des relations entre les industries et la ressource, incluant les conséquences économiques, sociales et culturelles qu'elles impliquent, permettra de guider davantage les gestionnaires au niveau économique. L'ensemble de ce processus apportera les bases pour interagir et communiquer avec les intervenants du milieu.

5.0 CONCLUSION

La première phase de ce projet pilote a été réalisée dans le contexte de la conservation du capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et a mené à l'élaboration de six modèles de séquence des effets. Les SdE développées dans un cadre d'analyse de risque, lorsque mises en commun, prennent en compte les aspects écologiques, socio-économiques, communautaires et culturels entourant la conservation du capelan. Concrètement, les modèles fournissent l'information nécessaire permettant d'illustrer la problématique dans son ensemble et les menaces potentielles des activités humaines sur la zone de fraie et d'alevinage et sur l'abondance du capelan. Dans une optique encore plus large, ils constituent un outil de communication très efficace et d'aide à la prise de décision, notamment parce qu'ils fournissent une base solide à l'analyse de risque en identifiant la problématique adéquatement et en formulant le problème de façon précise. Pour cette raison, les modèles produits lors de la phase I guideront les étapes

suivantes de l'analyse de risque entreprise pour ce projet, soit l'évaluation (phase II) et la gestion des risques.

En résumé, la réalisation du modèle holistique a permis de déterminer les composantes anthropiques qui peuvent affecter la conservation du capelan en offrant une vue d'ensemble de la problématique. À partir de ce modèle, trois modèles spécifiques écologiques ont été élaborés soit : le modèle spécifique écologique des effets reliés à la zone de fraie et d'alevinage, le modèle spécifique écologique des effets potentiels sur l'abondance du capelan et le modèle spécifique trophique des effets associés aux relations proie-prédateur. Le premier modèle décrit les liens entre les facteurs de stress potentiels générés par l'altération de la zone côtière et leurs impacts sur la zone de fraie et d'alevinage. Le second modèle a mis en lumière les relations qui existent entre les différentes activités de pêche, le prélèvement de la biomasse et les impacts qui peuvent affecter l'abondance du capelan. Le troisième modèle, pour sa part, a permis de comprendre les interrelations entre les proies, les compétiteurs et les prédateurs du capelan et son abondance. Ce modèle a aussi permis de visualiser la complexité d'un réseau trophique et d'imaginer les effets que pourraient engendrer une ou plusieurs activités humaines dans cet équilibre. Deux modèles spécifiques socio-économiques et culturels reliés à la zone de fraie et d'alevinage et à l'abondance du capelan, ont permis d'identifier les industries dont la viabilité économique dépend de l'espèce, d'estimer l'importance de cette dernière pour le bien-être des collectivités et d'identifier les industries qui pourraient être touchées par la mise en place de mesures de gouvernance ou par l'altération de la ressource.

Les modèles produits dans le cadre de la phase I pourront évoluer dans le temps si nécessaire, en raison de leur structure simple et flexible. Il sera possible de les améliorer ou de les modifier lors de la mise en disponibilité ou de la mise à jour des informations scientifiques pertinentes, mais surtout de les adapter selon les intervenants concernés et en fonction des besoins du milieu.

6.0 REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes ont contribué à la rédaction de ce rapport. Les auteurs veulent remercier plus particulièrement les membres du groupe de travail nommés à l'Annexe 1 et les autres collaborateurs qui ont permis de mener à bien cette première phase : Mathieu Bergeron, Marcel Boudreau, Catherine Boulay, Marie-France Dalcourt, Danielle Dorion, Gilles Fortin, Marie-Hélène Gendron, Julie Lavallée, Marie-Claude Martel, Jean Morisset, Danièle Raby et Chantal Thiboutot. Aussi, les auteurs remercient Matthew Hardy et Pedro Nilo pour la révision du document et Laure Devine et Jean-François Saint-Pierre pour son édition.

7.0 RÉFÉRENCES

AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada). 1998. Programme Fédéral-Provincial d'assurance-récolte – Une évaluation intégrée écolo-économique. 136 p.

Anderson, K.H. et C. Möllmann. 2004. Process oriented model of mortality for Central Baltic cod, *Gadus morhua callarias* L. Working document, ICES CM 2004/P: 25.

Ashley, K., L.C. Thompson, D.C. Lasenby, L. McEachern, K.E. Smokorowski et D. Sebastian. 1997. Restoration of an interior lake ecosystem : the Kootenay Lake fertilization experiment. Water Qual. Res. J. Can. 32 (2): 295–323.

Bacon, P.J., S.C. Gurney, W. Jones, I.S. McLaren et A.F. Youngson. 2005. Seasonal growth patterns of wild juvenile fish : partitioning variation among explanatory variables, based on individual growth trajectories of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. J. Anim. Ecol. 74 (1): 1–11.

Bernatchez, P. et J.M. Dubois. 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. Géo. phys. et quater. 58 (1): 45–71.

Bijan, L. et M. Mohseni. 2005. Integrated ozone and biotreatment of pulpmill effluent and changes in biodegradability and molecular weight distribution of organic compounds. Water Res. 39 (16): 3763–3772.

Bourgault, D. et V.G. Koutitonsky. 1999. Real-time monitoring of the freshwater discharge at the head of the St-Lawrence estuary. Atmos.–Ocean. 37 (2): 203–220.

Brandt, S.A. 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. Catena 40: 375– 401.

Bundy, A. 2004. Mass balance models of the eastern Scotian Shelf before and after cod collapse and other ecosystem changes. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2520: xii + 193 p.

Carawan, R.E. 1991. Processing plant waste management guidelines. Aquatic fishery products. Seafood and the environment. Pollution prevention short course. 36 p.

Carscadden, J.E. 1978. The capelin, *Mallotus villosus*, population spawning on the southeast shoal of the grand bank, 1976. ICNAF Annual meeting 1977 Res. Doc. 77/VI/14: 18 p.

Carscadden, J.E., B.S. Nakashima et K.T. Frank. 1997. Effects of fish length and temperature on the timing of peak spawning in capelin (*Mallotus villosus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 781–787.

CDEENA. 2003. Comparative Dynamics of Exploited Ecosystems in the Northwest Atlantic / Dynamique comparée des écosystèmes exploités dans l'Atlantique nord-ouest [en ligne]. Disponible à http://slgo.ca/app-cdeena/fr/accueil.shtml (consulté le 10 novembre 2009).

Chambers P.A., M. Allard, S.L. Walker, J. Marsalek, J. Lawrence, M. Servos, J. Busnarda, K.S. Munger, K. Adare, C. Jefferson, R.A. Kent et M.P. Wong. 1997. The impacts of municipal wastewater effluents on Canadian waters: a review. Water Qual. Res. J. Can. 32: 659–671.

Clarke, K.D., T.C. Pratt, R.G. Randall, D.A. Scruton et K.E. Smokorowski. 2008. Validation of the flow management pathway: effects of altered flow on fish habitat and fishes downstream from a hydropower dam. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2784: vi + 111 p.

Clarkson, R.W. et M.R. Childs. 2000. Temperature effects of hypolimnial-release dams on early life stages of Colorado River basin big river fishes. Copeia 2: 402–412.

Colmenarejo, M.F., A. Rubio, E. Sanchez, J. Vicente, M.G. Garcia et R. Borja. 2006. Evaluation of municipal wastewater treatment plants with different technologies at Las Rozas, Madrid (Spain). J. Environ. Man. 81: 399–404.

Couillard, C.M. 2002. A microscale test to measure petroleum oil toxicity to mummichog embryos. Environ. Toxicol. 17: 195–202.

Couillard, C.M. et P. Nellis. 1999. Organochlorine contaminants in mummichog (*Fundulus Heteroclitus*) living downstream from a bleached-kraft pulp mill in the Miramichi Estuary, New Brunswick, Canada. Environ. Toxicol. Chem. 18 (11): 2545–2556.

Davoren, G.K., J.T. Anderson et W.A. Montevecchi. 2006. Shoal behaviour and maturity relations of spawning capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland: demersal spawning and diel vertical movement patterns. Can. J. Aquat. Sci. 63: 268–284.

Davenport, J., R.J.J.W. Smith et M. Parker. 2000. Mussels *Mytilus edulis*: significant consumers and destroyers of mesoplankton. Mar. Ecol. Prog. Ser. 198: 131–137.

Drolet, R., L. Fortier, D. Ponton et M. Gilbert. 1991. Production of fish larvae and their prey in subartic southeastern Hudson Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 77: 105–118.

Dufour R. et P. Ouellet. 2007. Rapport d'aperçu et d'évaluation de l'écosystème marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2744F: vii + 123 p.

Dumont M. et V. Provost. 2008. Une histoire de pêche… La pêche au capelan sur la Côte-Nord, de 1831 à nos jours, racontée par les aînées de la Côte-Nord. Comité ZIP Côte-Nord du Golfe. 60 p.

EC (Environnement Canada).1996. L'état de l'environnement au Canada - 1996. Environnement Canada, Ottawa (Ontario). 800 p.

EC (Environnement Canada). 1998. Établissement industriel : Points saillants. Fiche 60. Société d'électrolyse et de chimie Alcan ltée, usine de Shawinigan. 4 p.

EC (Environnement Canada). 2001. L'état des effluents urbains au Canada. Rapport sur l'état de l'environnement EN-1-11/96F: xii + 71 p.

EC (Environnement Canada). 2003. Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers : Sommaire du rapport. Institut national de la recherche sur les eaux, Ontario. Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE. 2: 32 p.

EC (Environnement Canada). 2005. Guide technique pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les fabriques de pâtes et papiers. Environnement Canada,

Bureau national des ESEE, Institut national de recherche sur les eaux, Gatineau (Québec), Canada.

EC (Environnement Canada). 2007. Impacts des rejets urbains sur la santé des poissons [en ligne]. Disponible à http://www.qc.ec.gc.ca/csl/pro016dm_f.html (consulté le 24 octobre 2009).

EC (Environnement Canada). 2008. L'importance des sédiments [en ligne]. Disponible à http://www.qc.ec.gc.ca/water/fr/nature/sedim/f_effect.htm (consulté le 14 décembre 2009).

EM (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire). 2005. Les écosystèmes et le bien-être de l'homme : évaluation de la condition et des tendances. Island Press Publisher, Washington, D.C. 948 p.

Fent, K. 1996. Ecotoxicology of organotin compounds. Crit. Rev. Toxicol. 26: 1–117.

Fent, K. 2006. Worldwide occurrence of organotins from antifouling paints and effects in the aquatic environment. *Dans* Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 5 : Water Pollution. *Édité par* I. Konstantinou. Springer-Verlag, Berlin. pp. 71–100.

Fortier, L., W.C. Leggett et S. Gosselin. 1987. Patterns of larval emergence and their potential impact on stock differentiation in beach spawning capelin (*Mallotus Villosus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 1326–1336.

Frank, K.T. et W.C. Leggett. 1981a. Wind regulation of emergence times and early larval survival in capelin (*Mallotus Villosus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 215–233.

Frank, K.T. et W.C. Leggett. 1981b. Prediction of egg development and mortality rates in capelin (*Mallotus Villosus*) from meteorological, hydrographic and biological factors. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 1327–1338.

Frank, K.T. et W.C. Leggett. 1983. Survival value of an opportunistic life-stage transition in capelin . Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 1442–1448.

Frank, K.T., J.E. Carscadden et J.E. Simon. 1996. Recent excursions of capelin (*Mallotus villosus*) to the scotian shelf and Flemish Cap during anomalous hydrographic conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 1473–1486.

Friedl, G., et A. Wuest. 2002. Disrupting biogeochemical cycles-consequences of damming. Aquat. Sci. 64 (1): 55–65.

Gilbert, M., L. Fortier, D. Ponton et R. Drolet. 1992. Feeding ecology of marine fish larvae across the Great Whale River plume in seasonally ice-covered southeastern Hudson Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 84: 19–30.

Giroux, I. 2004. La présence de pesticides dans l'eau en milieu agricole au Québec. Environnement Québec. Ministère de l'environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Envirodoq ENV/2004/0309. Collection QE/151. 40 p.

Giroux, S., E. Blier, S. Le Breton et M. Ouellet. 2008. Projet de collecte de connaissances autochtones sur les espèces marines en péril du Saint-Laurent. Rapport final. Agence Mamu Innu Kaikusseth, Réseau d'observation de mammifères marins et Amphibia-Nature. Sept-Îles, Québec. ix + 84 p.

Grégoire, F. 2004. Le capelan (*Mallotus villosus*) : l'espèce fourrage par excellence. Nat. Can. 128 (2): 106–108.

Grégoire F., D. Chabot, C. Savenkoff, C. Lévesque, J. Guérin, J. Hudon et J. Lavers. 2003. Pêche, biologie et distribution du capelan (*Mallotus villosus*) dans divisions 4RST de l'OPANO en 2002. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. De rech. 2003/083. iii + 68 p.

Grégoire, F., J. Gauthier, C. Savenkoff, C. Lévesque, J.-L. Beaulieu et M.-H. Gendron. 2008. Pêche commerciale, prises accessoires et biologie du capelan (*Mallotus villosus*) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (divisions 4RST de l'OPANO) pour la période de 1960 à 2007. Secr. Can. de consult. Sci. du MPO, Doc. Rec. 2008/084. iv + 89 p.

Grégoire, F. et S. Hurtubise, 1996. Les prises accessoires de capelan (*Mallotus villosus*) dans le golfe du Saint-Laurent entre 1990 et 1995. Secr. Can. de consult. Sci. du MPO, Doc. Rec. 1996/55. 59 p.

Grégoire, F., R. Morneau, G. Caron, M. Beaudoin, C. Lévesque, C. Rose, A. Felix et J. Hudon. 2004. Fécondité du capelan (*Mallotus villosus*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2003. Rapp. tech. can. halieut. aquat. 2560: vi + 24 p.

Grégoire, F., C. Savenkoff et D. Chabot. 2005. Capelan (*Mallotus villosus*) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (divisions 4RST de l'OPANO) en 2004. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. Rec. 2005/058. iv + 55 p.

Greig, L. et C. Alexander. 2009. Developing pathways of effects for sector based management. Prepared by ESSA Technologies Ltd., Richmond Hill, ON for Fisheries and Oceans Canada, Oceans Directorate, Ocean Policy and Planning Branch, Ottawa (Ontario). 28 p.

Hewitt, M.L., T.G. Kovacs, M.G. Dubé, D.L. MacLatchy, P.H. Martel, M.E. McMaster, M.G. Paice, J.L. Parrott, M.R. Van Den Heuvel et J. Van Der Kraad. 2008. Altered reproduction in fish exposed to pulp and paper mill effluents : roles of individual compounds and mill operating conditions. Environ. Toxicol. Chem 27 (3): 682–697.

Hogan, J.W. et J.L. Brauhn. 1975. Abnormal rainbow trout fry from eggs containing high residues of a PCB (Aroclor 1242). Prog. Fish-Cult. 37: 229–230.

Holden, P.B. et C.B. Stalnaker. 1975. Distribution and abundance of mainstream fishes of the middle Colorado River basins, 1967-1973. Trans. Am. Fish. Soc. 104 (2): 217–231.

Holmer, M. 1991. Impacts of aquaculture on surrounding sediments : generation of organic-rich sediments. *Dans* Aquaculture and the environment. *Édité par* N. DePauw et J. Joyce. European Aquaculture Society. Spec. Publ. 16, pp. 155-175.

Hopkins, C.C.E. et E.M. Nilssen. 1991. The rise and fall of the Barents Sea capelin (*Mallotus villosus*): a multivariate scenario. Polar Res. 10: 535–546.

Horsted, S.J., T.G. Nielsen, B. Reiman, J. Pock-Steen et P.K. Bjornsen. 1988. Regulations of zooplankton by suspension-feeding bivalves and fish in estuarine enclosures. Mar. Ecol. Prog. Ser. 48: 217–224.

Hudon, C. et R. Carignan. 2008. Cumulative impacts of hydrology and human activities on water quality in the St.Lawrence River (Lake St-Pierre, Québec, Canada). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65:1165–1180.

Hynynen, J., A. Palomaki, J.J. Merilainen, A. Witick et K. Mantykoski. 2004. Pollution history and recovery of a boreal lake exposed to a heavy bleached pulping effluent load. J. Paleolim. 32: 351–374.

Islam S.M., S. Khan et M. Tanaka. 2004. Waste loading in shrimp and fish processing effluents : potential source of hazards to the coastal and nearshore environments. Mar. Pollut. Bull. 49 (1-2): 103–110.

Jangaard, P.M. 1974. The capelin (*Mallotus villosus*). Biology, distribution, exploitation, utilization and composition. Bull. Fish. Res. Board Can. 186: 1–70.

Jàkupsstovu, S.H. et J. Reinert. 2002. Capelin in Faroese waters – a messenger of harsh times? ICES J. Mar. Sci. 59: 884–889.

Jennings, S. et M.J. Kaiser. 1998. The effects of fishing on marine ecosystems. Advan. Mar. Biol. 34: 201–212.

Jorgensen, R., N.O. Handegard, H. Gjosaeter et A. Slotte. 2004. Possible vessel avoidance behaviour of capelin in a feeding area on a spawning ground. Fish. Res. 69: 251–261.

Kennish, M.J. 1992. Ecology of estuaries: Anthropogenic effects. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. 494 p.

Khan, R.A. et J. Thulin. 1991. Influence of pollution on parasites of aquatic animals. Adv. Parasitol. 30: 201–238

Koustikopoulos, C., M. Karikiri, Y. Désaunay et D. Dorel. 1989. Response of juvenile sole (*Solea solea* L.) to environmental changes investigated by otolith microstructure analysis. ICES Mar. Sci. Symp. 191: 281–286.

Labat, D., Y. Godderis, J.L. Probst et J.L. Guyot. 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. Adv. Water Resour. 27: 631–642.

Lajoie, M., S. Baillargeon, U. Boyer-Villemaire et Y. Crouzet. 2007. L'érosion des berges au Québec maritime [en ligne]. Disponible à http://www.zipcng.org/documentation/Doc_rosion_des_berges_Qc.pdf (consulté le 14 décembre 2009).

Lawton, P. et D. Robichaud. 1991. Shallow water spawning and moulting areas of American lobsters, *Homarus americanus*, off Grand Manan, Bay of Fundy, Canada. J. Shellfish Res. 10: 286–292.

Lebeuf, M., Y. St-Pierre, Y. Clermont et C. Gobeil. 1999. Concentrations de biphényles polychlorés (BPC) et des pesticides organochlorés chez trois espèces de poissons de fond de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et du fjord du Saguenay. Rapp. stat. can. sci. halieut. aquat. 1059 : vi + 108 p.

Leggett, W.C., K.T. Frank et J.E. Carscadden. 1984. Meteorological and hydrographic regulation of year-class strength in capelin (*Mallotus villosus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 1193–1201.

Levasseur, C. 1996. Biologie marine, Applications aux eaux du Saint-Laurent. Centre collégial de développement de matériel didactique, Montréal. 247 p.

Malham. S.K., E. Cotter, S. O'Keefe, S. Lynch, S.C. Culloty, J.W. King, J.W. Latchford et A.R. Beaumont. 2008. Summer mortality of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in the Irish Sea: The influence of temperature and nutrients on health and survival. Aquaculture. 287 (1-2): 128–138.

Mance, G. 1987. Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. Elsevier Applied Sciences, London, U.K. 372 p.

Marion, A., M. Harvey, D. Chabot et J.-C. Brêthes. 2008. Feeding ecology and predation impact of the newly established species *Themisto libellula* (Amphipoda, Hyperiidea) in the St. Lawrence marine system, Canada. Mar. Ecol. Prog. Ser. 373: 53–70.

McAllister, B.G. et D.E. Kim. 2004. Early life exposure to environmental levels of the aromatase inhibitor tributylin causes masculinisation and irreversible sperm damage in zebrafish (*Danio rerio*). Aquat Toxicol. 65: 309–316.

MCI (Memphrémagog Conservation Inc.). 2009a. Érosion [en ligne]. Disponible à http://www.memphremagog.org/fr/lexique.php?id=36 (consulté le 16 octobre 2009).

MCI (Memphrémagog Conservation Inc.). 2009b. Eutrophisation [en ligne]. Disponible à http://www.memphremagog.org/fr/lexique.php?id=35 (consulté le 9 novembre 2009).

Menesguen A., A. Aminot, C. Belin, A. Chapelle, J.-F. Guillaud, M. Joanny, A. Lefebvre, M. Merceron, J.-Y. Piriou et P. Souchu. 2001. L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. Rapport IFREMER pour la Commission Européenne, DEL/EC/01.02. 59 p.

Merilainen, J.J., J. Hynynen, A. Teppo, A. Palomaki, K. Granberg et P. Reinikainen. 2000. Importance of diffuse nutrient loading and lake level changes to the eutrophication of an originally oligotrophic boreal lake: a palaeolimnological diatom and chironomid analysis. J. Paleolim. 24: 251–270.

Milligan , T.G. et D.H. Loring. 1997. The effect of flocculation on the size distributions of bottom sediments in coastal inlets: implications for contaminant transport. Water, Air Soil Pollut. 99: 33–42.

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2003. A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems. Volume I. Far-field environmental effects of marine finfish aquaculture (B.T. Hargrave); Ecosystem level effects of marine bivalve aquaculture (P. Cranford, M. Dowd, J. Grant, B. Hargrave and S. McGladdery); Chemical use in marine finfish aquaculture in Canada: a review of current practices and possible environmental effects (L.E. Burridge). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2450: ix + 131 p.

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2005. Capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2004. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2005/002 : 9 p.

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2006. Guide à l'intention des praticiens sur l'application du cadre de gestion des risques destiné au personnel affecté à la gestion de l'habitat du MPO; Version 1.0 [en ligne]. Disponible à http://www.dfo-mpo.gc.ca/habitat/role/141/1415/14155/risk-risque/pdf/Risk-Management-fra.pdf (consulté le 24 janvier 2011).

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2007a. Élaboration d'objectifs de conservation pour la gestion intégrée dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (GIGSL); du 27 février au 1er mars 2007. Secr. Can. de consult. sci. du MPO, Compte rendu 2007/007 : x + 88 p.

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2007b. Évaluation des effets des substances polluantes sur les animaux aquatiques [en ligne]. Disponible à http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/Publications/article/2007/10-09-2007-fra.htm (consulté le 24 octobre 2009).

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2008a. Vision, mission et mandat [en ligne]. Disponible à http://www.dfo-mpo.gc.ca/us-nous/vision-fra.htm (consulté le 24 janvier 2011).

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2008b. Évaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Divisions 4RST) en 2007. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2008/037 : 13 p.

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2008c. Politique sur la pêche des espèces-fourrages [en ligne]. Disponible à http://www.dfo-mpo.gc.ca/fm-gp/peches-fisheries/fish-ren-peche/sff-cpd/forage-fra.htm (consulté le 15 octobre 2009).

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2009. Objectif de conservation pour les Zones d'Importance Écologique et Biologique (ZIEB) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2009/049 : 10 p.

MPO (Ministère des Pêches et des Océans). 2011. Évaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Divisions 4RST) en 2010. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2011/008 17 p.

Misic, C. et A. Covazzi Harriague. 2009. Organic matter characterisation and turnover in the sediment and seawater of a tourist harbour. Mar. Environ. Res. 68 (5): 227–235.

Morry, C., M. Chadwick, S. Courtenay et P. Mallet. 2003. Effluents des usines de transformation des produits marins : un atelier sur le développement durable. Rap. Can. Ind. Sci. Hal. Aquat. 271F: ix + 118 p.

Moss, A., M. Cox, D. Scheltinga et D. Rissik. 2006. Integrated estuary assessment framework. Cooperative Research Centre for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management. Tech. Rep. 69: 93 p.

Mowbray, F.K. 2002. Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland. ICES J. Mar. Sci. 59: 942–949.

Nakashima, B.S. 1987. Regional and temporal variations in fecundity of capelin in Newfoundland waters. Trans. Am. Fish. Soc. 116: 864–873.

Nakashima, B.S. 1996. The relationship between oceanographic conditions in the 1990s and changes in spawning behaviour, growth and early life history of capelin (*Mallotus villosus*). NAFO Sci. Coun. Studies 24: 55–68.

Nakashima, B.S. et C.T. Taggart. 2002. Is beach spawning success for capelin, *Mallotus villosus* (Müller), a function of the beach? ICES J. Mar. Sci. 59: 897–908.

Nakashima, B.S., et J.P. Wheeler. 2002. Capelin (*Mallotus villosus*) spawning behaviour in Newfounland waters – the interaction between beach and demersal spawning. ICES J. Mar. Sci. 59: 909–916.

Nelson, R.W., J.R. Dwyer et W.E. Greenberg. 1987. Regulated flushing in a gravel-bed river for channel habitat maintenance: a Trinity River fisheries case study. Environ. Manage. 11(4): 479–494.

Niimi, A.J. 1983. Biological and toxicological effects of environmental contaminants in fish and their eggs. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 306–312.

Norring, N.P. et E. Jorgensen. 2009. Eutrophication and agriculture in Denmark : 20 years of experience and prospects for the future. Hydrobiologia. 629: 65–70.

Olsen, E., S. Aanes, S. Mehl, J.C. Holst, A. Aglen et H. Gjøsæter. 2009. Cod, haddock, saithe, herring, and capelin in the Barents Sea and adjacent waters: a review of the biological value of the area. ICES J. Mar. Sci. 67: 87–101.

Orlova, E.L., G.B. Rudneva, A.V. Dolgov, N.G. Ushakov, L.L. Konstantinova et N.G. Zhukova. 2006. Long-term dynamics of capelin feeding in the Barents Sea and decisive factors. Working document, ICES CM 2006/F: 04.

Parent, B. et P. Brunel. 1976. Aires et périodes de fraye du capelan (*Mallotus villosus*) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Travaux sur les pêcheries du Québec 45: 46 p.

Pelletier, É. 2009. Entrevue avec Émilien Pelletier, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en écotoxicologie marine à l'ISMER. La question du mois [en ligne]. Disponible à http://www.baleinesendirect.net30/fs.html (consulté le 15 octobre 2009).

Person-Le Ruyet, J. 1986. Les besoins en oxygène des poissons marins et leur comportement en conditions hypoxiques. Revue bibliographique. Rapport IFREMER/DRV 86-04 : 34 p.

Peterson, C.H. 1989. The « Exxon Valdez » oil spill in Alaska: acute, indirect and chronic effects on the ecosystem. Adv. Mar. Biol. 39: 1–103.

Petts, G.E. 1979. Complex response of river morphology subsequent to reservoir construction. Prog. Phys. Geo. 3: 329–362.

Pierson, W.L., K. Bishop, D. Van Senden, P.R. Horton et A. Adamantidis. 2002. Environmental water requirements to maintain estuarine processes. Environmental flows initiative technical report 3, Commonwealth of Australia, Canberra. 147 p.

Pitcher, T.J., J.J.S. Heymans et M. Vasconcellos. 2002. Ecosystems models of Newfoundland for the time periods 1995, 1985, 1900 and 1450. Fish. Cent. Res. Rep. 10 (5): 74 p.

Ramade, F. 1979. Ecotoxicologie. 2e édition. Masson, Paris, France.228 p.

RNC (Ressources Naturelles Canada). 2008. La coupe à blanc et l'azote dans les forêts montagnardes. Info-forêts : Recherche scientifique et technologique au Centre de foresterie du Pacifique du Service canadien des forêts. Avril. 3 p.

Riegman, R. 1995. Nutrient-related selection mechanisms in marine phytoplancton communities and the impact of eutrophication on the planktonic food web. Water Sci. Technol. 32 (4): 63–75.

Ricker, W.E. 1980. Calcul et interprétation des statistiques biologiques de populations de poissons. Bull. Fish. Res. Board Can. 191F: 409 p.

Rose, G.A. 2005. Capelin (*Mallotus Villosus*) distribution and climate: a sea "canary" for marine ecosystem change. ICES J. Mar. Sci. 62: 1524–1530.

Rosenberg, D.M., F. Berkes, R.A. Bodaly, R.E. Hecky, C.A. Kelly et J.W.M. Rudd. 2007. Large-scale impacts of hydroelectric development. Environ. Rev. 5: 27–54.

Savard, J.-P., P. Bernatchez, F. Morneau, F. Saucier, P. Gachon, S. Senneville, C. Fraser et Y. Jolivet. 2008. Étude de la sensibilité des côtes et de la vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Synthèse des résultats. Ouranos: 48 p.

Savard, J.-P., P. Bernatchez, F. Morneau et F. Saucier. 2009. Vulnérabilité des communautés côtières de l'est du Québec aux impacts des changements climatiques. La Houille Blanche 2 : 59–66.

Savenkoff, C., F. Grégoire et D. Chabot. 2004. Main prey and predators of capelin (*Mallotus villosus*) in the northern and southern Gulf of St-Lawrence during the mid-1990s. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2551: vi + 30 p.

Savenkoff, C., M. Castonguay, D. Chabot, M.O. Hammill, H. Bourdages et L. Morissette. 2007a. Changes in the northern Gulf of St. Lawrence ecosystem estimated by inverse modelling: Evidence of a fishery-induced regime shift? Est. Coast. Shelf Sci. 73: 711–724.

Savenkoff, C., D.P. Swain, J.M. Hanson, M. Castonguay, M.O. Hammill, H. Bourdages, L. Morissette et D. Chabot. 2007b. Effects of fishing and predation in a heavily exploited ecosystem: Comparing periods before and after the collapse of groundfish in the southern Gulf of St. Lawrence (Canada). Ecol. Model. 204: 115–128.

Savenkoff, C., S. Valois, D. Chabot et M.O. Hammill. 2009. Input data and parameter estimates for ecosystem models of the northern Gulf of St. Lawrence (2003–2005). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2829: vi + 117 p.

Schueler, T.R. 1987. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Metropolitan Washington Council of Governments. Publication No. 87703 : 275 p.

Sirois, P. et J. Dodson. 2000. Influence of turbidity, food density and parasites on the ingestion and growth of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in an estuarine turbidity maximum. Mar. Ecol. Prog. Ser. 193: 167–179.

Slepukhina, T.D., I.V. Belyakova, Y.A. Chichikalyuk, N.N. Davydova, G.T. Frumin, E.M. Kruglov, E.A. Kurashov, E.V. Rubleva, L.V. Sergeeva et D. Subetto. 1996. Bottom sediment and biocenose of northern Ladoga and their changes under human aspect. Hydrobiologia. 322: 23–28.

Smith, K. 1972. River water temperature: an environmental review. Scot. Geogr. Mag. 88: 211–220.

Stalnaker, C.B., R.T. Milhous et K.D. Bovee. 1989. Hydrology and hydraulics applied to fishery management in large rivers. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106: 13–30.

Stergiou, K.I. 1991. Possible implication of climatic variability on the presence of capelin (*Mallotus villosus*) off the Norwegian coast. Climatic. Change. 19: 369–391.

Stewart, P.L. et B.T.L. White. 2001. A review of contaminants on the Scotian Shelf and in adjacent coastal waters: 1970 to 1995. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2351: xviii + 158 pp.

Sorenson, E.M. 1991. Metal poisoning in fish. CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S. 374 p.

Sutcliffe, W.H. Jr. 1973. Correlations between seasonal river discharge and local landings of american lobster *(Homarus americanus)* and Atlantic halibut *(Hippoglossus hippoglossus)* in the Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Board Can. 30: 856–859.

Sutherland, T.F., C.D. Levings et J.M. Helfield. 2001. The characterization of suspended particulate matter surrounding a salmonid net-pen in the Broughton Archipelago, British Columbia. ICES J. Mar. Sci. 58: 404–410.

Terenshchenko, E.S. 2002. The dynamics of population fecundity in Barents Sea capelin. ICES J. Mar. Sci. 59: 976–982.

Trites, A. W., V. Christensen et D. Pauly. 2006. Effects of fisheries on marine ecosystems: just another top predator? *Dans* Top predators in marine ecosystems. *Édité par* I. L. Boyd, S. Wanless et C. J. Camphuysen. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 11-27.

U.S.-EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1998. Guidelines for ecological risk assessment. Risk Assessment Forum, Washington DC. Federal Register 63(93):26846-26924.

Vesin, J.P., W.C. Leggett et K.W. Able. 1981. Feeding ecology of capelin (*Mallotus villosus*) in the estuary and western Gulf of St. Lawrence and its multispecies implications. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 257–267.

Walker, M.K. et R.E. Peterson. 1991. Potencies of polychlorinated dibenzo-p-dioxin, dibensofuran, and biphenyl congeners, relative to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin, for producing early life stage mortality in rainbow trout *(Oncorhynchus mykiss).* Aquat. Toxicol. 21: 219–238.

Webb, B.W. 1995. Regulation and thermal regime in a Devon River system. *Dans* Sediment and water quality in river catchments. *Édité par* I.D.L. Foster, A.M. Gurnell et B.W. Webb. John Wiley and Sons, Chichester, U.K. pp. 65–94.

Webb, B.W. et D.E. Walling. 1996. Long-term variability in the thermal impact of river impoundment and regulation. Appl. Geogr. 16 (3): 211–223.

Worm, B. et R.A. Myers. 2003. Meta-analysis of cod-shrimp interactions reveals top-down control in oceanic food webs. Ecology 84: 162-173.

Yeats, P.A. 1988. Nutrients. *Dans* Chemical oceanography in the Gulf of St. Lawrence. *Edité par* P.M. Strain. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 220: 49–58.

Zitco, V. et R.L. Saunders. 1979. Effects of PCB's and other organochlorine compounds on the hatchability of Atlantic salmon (*Salmo Salar*) eggs. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 21: 125–130.

8.0 ANNEXES

Annexe 1. Composition du groupe de travail du MPO ayant collaboré à la phase I du projet pilote.

Participant	Direction ou secteur	Région
Arseneau, Cédric	Pêches et aquaculture	Québec
Bilodeau, Francis	Politiques et économique	Québec
Cabana, Anne-Marie	Gestion des écosystèmes	Québec
DeMaio-Sukic, Alejandro	Politiques et économique	Administration centrale
Dufour, Réjean	Sciences	Québec
Ellefsen, Hans-Frédéric	Secteur Côte-Nord	Québec
Giangioppi, Martine	Politique et planification des océans	Administration centrale
Grégoire, François	Sciences	Québec
Hazel, François	Gestion des écosystèmes	Québec
Magassouba, Ali	Politiques et économique	Québec
Massicotte, Éric	Politiques et économique	Québec
Nellis, Pierre	Gestion des écosystèmes	Québec
Perreault, Louise	Gestion des écosystèmes	Québec
Savenkoff, Claude	Sciences	Québec
Tremblay, Gilles H.	Gestion des écosystèmes	Québec

Annexe 2. Description des différents termes et symboles utilisés dans les modèles de séquence des effets.

Seuls les catégories et les éléments retenus pour établir les modèles de séquence des effets sur la conservation du capelan sont présentés ici.

Catégorie d'éléments SdE	Définitions / *liste des éléments retenus pour le capelan*
	Composante ou fonction écologique (non mesurable) à protéger (ou PU). • *Conservation du capelan*
	Composante écologique mesurable (ou PUM) liée au paramètre ultime (PU) à protéger. Puisque mesurable, cette composante permet d'établir le lien entre le paramètre ultime (ici, la conservation du capelan) et les objectifs de gestion déterminés par les décideurs. • *Quantité et qualité de l'habitat de fraie et d'alevinage du capelan* • *Abondance du capelan*
	Bénéfices gratuits que tirent les populations humaines des écosystèmes aquatiques. • *Services de l'approvisionnement* • *Services culturels*
	Facteurs physiques, biologiques ou chimiques engendrés par les activités humaines et qui génèrent des impacts (voir la définition) susceptibles d'affecter les PU et PUM. • *Prélèvement de la biomasse* • *Modification de la zone riveraine*‡‡ • *Modification du régime hydrique*‡‡ • *Introduction de contaminants*‡‡ • *Modification de température et salinité*‡‡ • *Modification d'apport de matière organique ou nutriments*‡‡
	Ensemble des activités et actions humaines dont la réalisation dépend ou peut être affectée directement ou indirectement par une modification de l'état des paramètres ultimes ou des biens et services de l'écosystème aquatique, ou encore par les mesures de gestion mise en place pour la protection du PU. • *Production hydroélectrique et gestion de l'eau* • *Activités municipales* • *Activités récréotouristiques* • *Industries lourdes* • *Transport maritime* • *Transport routier* • *Pétrole et gaz* • *Pêches* • *Foresterie* • *Agriculture* • *Aquaculture*

‡‡ Ces facteurs de stress humain font partie de la catégorie « Altération de la zone côtière ».

Activité humaine

Ensemble des activités et actions humaines qui seraient susceptibles d'affecter les PU et PUM en induisant des facteurs de stress humains. Les activités humaines constituent des éléments sur lesquels les mesures de gestion peuvent s'appliquer.

- *Production hydroélectrique et gestion de l'eau*
- *Pêches*
- *Pêche commerciale*
- *Pêche récréative*
- *Prises accessoires dans les autres pêches*
- *Pêche alimentaire, sociale et rituelle*
- *Activités municipales*
- *Activités récréotouristiques*
- *Industries lourdes*
- *Transport maritime*
- *Transport routier*
- *Pétrole et gaz*
- *Foresterie*
- *Agriculture*
- *Aquaculture*

Ensemble des effets induits par les facteurs de stress humains sur les conditions biologiques, physiques, géologiques ou chimiques d'un milieu. Ces effets engendrent, à leur tour, un changement mesurable dans la condition des PU et PUM.

- *Perte de superficie de la zone intertidale*
- *Érosion/accumulation de sédiments*
- *Eutrophisation*
- *Malformation*
- *Bioaccumulation*
- *Toxicité*
- *Relation proie-prédateur*
- *Reproduction*
- *Éclosion des œufs*
- *Survie des larves*
- *Diminution des géniteurs*
- *Taille des individus*
- *Perte de qualité du substrat*
- *Colmatage*
- *Cannibalisme*

Facteur de stress naturel

Espèces présentant un lien trophique (proie, prédateur et/ou compétiteur) avec le capelan, donc capables d'affecter son abondance.

- *Cétacés à fanons*
- *Marsouin commun*
- *Phoques*
- *Oiseaux*
- *Morue*
- *Grand zooplancton – Euphausiacés*
- *Copépodes*
- *Sébaste*
- *Turbot (flétan du Groenland)*
- *Plie canadienne*
- *Maquereau*
- *Hareng*
- *Crevettes*
- *Autres prédateurs*

Facteur modulateur humain

Ensemble des conditions d'ordre culturel, sociétal ou économique qui peuvent influencer les activités humaines et qui seraient ainsi susceptibles d'affecter indirectement les PU et PUM.

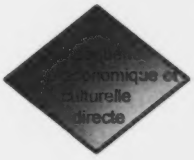
- *Marché*
- *Gouvernance*
- *Changements climatiques*
- *Démographie*

Facteur modulateur naturel

Ensemble des conditions d'ordre environnemental, biologique ou écologique spécifiques à l'espèce ou à l'écosystème dans lequel évolue l'espèce et qui sont susceptibles d'affecter indirectement le PU ou les PUM.

- *Cycle de vie*

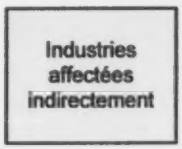
Ensemble des éléments économiques, sociaux et culturels qui peuvent être affectés directement ou indirectement par une modification des PU et PUM, mais également lorsque des mesures de gestion sont mises en place afin de protéger les PU et PUM.



- *Oiseaux*
- *Mammifères marins*
- *Autres espèces commerciales*
- *Investissement*
- *Emplois*
- *Revenu*
- *Heures travaillées*
- *Effets indirects et induits*
- *Valeur esthétique*
- *Valeur socioculturelle*
- *Valeur de subsistance*
- *Valeur de connaissance/apprentissage*
- *Valeur patrimoniale*
- *Valeur récréative*

Ensemble des activités à caractère économique qui peuvent être directement affectées par une modification de l'état des PU et PUM.

- *Pêche au capelan*
- *Activités récréotouristiques*
- *Pêche – autres espèces*
- *Transformation du capelan*
- *Transformation – autres espèces*



Ensemble des activités à caractère économique qui peuvent être indirectement affectées par les mesures de gestion mises en place afin de protéger les PU et PUM.

- *Activités municipales*
- *Transport routier*
- *Infrastructures portuaires*
- *Aquaculture*

Ensemble des éléments économiques, sociaux et culturels qui peuvent être affectés par les mesures de gestion mises en place afin de protéger les PU et PUM.

- *Coûts*

Rapports traitant de l'état de différents stocks ou populations d'organismes marins, des enjeux en lien avec les écosystèmes, l'environnement, les espèces en péril et de l'évaluation des options de politique et de gestion. Ces rapports se fondent sur des connaissances et résultats scientifiques soumis à une évaluation par les pairs et constituent une base fiable sur laquelle s'appuient les processus décisionnels et de gestion. Ils permettent une prise de décision éclairée et l'adoption de politiques et stratégies efficaces dans l'atteinte des objectifs de conservation de la ressource.

Annexe 3. Glossaire du modèle holistique.

Les définitions qui suivent sont adaptées aux besoins du document.

Paramètre ultime (PU)
Conservation du capelan : consiste à préserver l'intégrité des populations, sous-populations ou stocks de capelan. L'objectif de conservation retenu pour le projet est décrit à la Section 2.2.1.

Paramètres ultimes mesurables (PUM)
Quantité et qualité de l'habitat de fraie et d'alevinage du capelan (Zone de fraie et d'alevinage) : qualité des caractéristiques biophysiques, nombre et superficie des aires utilisées par le capelan pour ses activités de reproduction (zone de fraie) et pour ses premiers stades de vie (zone d'alevinage). Il est à noter que pour les besoins du projet et en raison des données disponibles, ce PUM exclut le volet de fraie en eaux profondes, phénomène peu connu, pour se concentrer sur la fraie en zone côtière.

Abondance du capelan : nombre total d'individus ou nombre d'individus par unité d'espace (surface ou volume) constituant une population, sous-population ou un stock de capelan dans une région donnée.

Biens et services de l'écosystème aquatique
Services de l'approvisionnement : correspondent aux biens ou services fournis par l'écosystème (p. ex. eau, nourriture, bois et autres fibres naturelles, produits pharmaceutiques naturels). Ces biens et services sont souvent pris en compte par le marché et sont donc facilement quantifiables.

Décomposition : processus biologique de dégradation d'un organisme végétal ou animal.

Espèces fourragères : espèces situées à des niveaux inférieurs dans une chaîne alimentaire aquatique, qui constituent une importante source de nourriture pour au moins quelques prédateurs, et qui connaissent une forte mortalité par prédation.

Source de nourriture pour les mammifères marins : proies potentielles pour les différentes espèces de mammifères marins et naturellement présentes dans leur environnement.

Récolte des ressources halieutiques : exploitation des ressources animales ou végétales en milieu aquatique naturel (fait particulièrement référence aux stocks ou populations de poissons commerciaux) par des activités de type commercial, sportif ou de subsistance.

Services culturels : correspondent aux bénéfices non tangibles que procurent les écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, les plaisirs récréatifs et culturels, l'expérience et les valeurs esthétiques, ainsi que l'intérêt pédagogique offert par la nature et qui est utile aux relations sociales et à la formation humaine. Les services culturels sont difficilement quantifiables puisqu'ils se situent en dehors de la sphère du marché.

Loisir en plein air : activités récréatives exercées à l'extérieur.

Esthétique : se rapporte aux perceptions et aux sensations que procure un milieu naturel.

Culture : ensemble des savoirs, pratiques, coutumes et usages en lien avec le milieu naturel, qui se partagent et se transmettent socialement au sein d'un groupe donné.

Spiritualité : démarches (p. ex. initiation, rituel, développement personnel) rattachées à la quête de sens, d'espoir et de libération que peut procurer un milieu naturel.

Facteur de stress humain

Altération de la zone côtière : catégorie de facteur regroupant les facteurs de stress susceptibles de modifier les conditions biologiques, chimiques, physiques ou géologiques d'un milieu côtier par des activités humaines ou des facteurs de stress d'origine humaine.

Prélèvement de la biomasse : capture d'une partie de la masse totale d'un stock ou d'une population (animale ou végétale) dans son milieu naturel.

Activités humaines et dépendances socio-économiques et culturelles

Production hydroélectrique et gestion de l'eau : la **production hydroélectrique** se rapporte à la conversion de l'énergie hydraulique de l'eau en mouvement (p. ex. cours d'eau, chutes d'eau, vagues, courants marins) pour produire de l'électricité. La **gestion de l'eau** concerne la régulation ou le stockage artificiel d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide d'infrastructures humaines (p. ex. barrages hydroélectriques, barrages de retenue, digues), afin de la réutiliser pour divers usages (p. ex. irrigation, industrie, hydroélectricité, pisciculture, réserve d'eau potable).

Activités municipales : désigne les activités administrées par les municipalités, les MRC et les communautés autochtones et qui peuvent affecter certains processus ou éléments du milieu naturel. Ce secteur d'activités se divise en deux sous-catégories : le secteur du génie civil et de la voirie et le secteur résidentiel. Le secteur du **génie civil et de la voirie** concerne les activités liées au développement et à l'aménagement d'un territoire public (p. ex. déforestation, drainage, déviation de cours d'eau), à la construction et l'entretien des infrastructures publiques (p. ex. réseau routier, aqueduc, égouts) et à l'hygiène publique (p. ex. gestion des eaux et des neiges usées, gestion des déchets humains). Le secteur des **activités résidentielles** concerne les activités liées au développement, à l'aménagement, à la construction et à l'entretien de terrains ou d'infrastructures privés (p. ex. artificialisation des berges, ouvrages de stabilisation, drainage de terrain, présence ou absence de végétation et de fosse septique).

Activités récréotouristiques : désigne l'ensemble des activités reliées aux secteurs du loisir et du tourisme (p. ex. activités de randonnée, incluant l'utilisation de véhicules motorisés, navigation de plaisance, observation de mammifères marins). La définition englobe également les installations nécessaires à ces activités (p. ex. hôtels, marinas, sentiers de randonnées pédestres ou motorisées), les activités d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. enrochement, défrichage), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. introduction d'espèces exotiques dans le milieu, piétinement, peinture antisalissure).

Industries lourdes : désigne les secteurs économiques liés à la production ou à la transformation de matières premières (p. ex. mine, métallurgie, chimie, papeterie.). La définition englobe également les installations industrielles (p. ex. usines, fonderies, raffineries), les activités

d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. déforestation, remblai), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. émissions atmosphériques, eaux usées, déversements accidentels).

Transport maritime : désigne le transport de marchandises ou de personnes par bateau. La définition englobe également les installations maritimes (p. ex. ports, quais, écluses, brise-lames), les activités d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. dragage, enrochement), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. introduction d'espèces exotiques dans le milieu, émissions atmosphériques, eaux de ballast, eaux grises, déversements accidentels, peintures antisalissure).

Aquaculture : regroupe les activités de production animale ou végétale en milieu aquatique naturel ou artificiel. La définition englobe également les installations aquacoles (p. ex. bassins, collecteurs, cages), les activités d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. prise d'eau, enrochement, déviation de cours d'eau), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. échappement d'espèces exotiques dans le milieu, propagation de maladies, utilisation de nutriments, d'antibiotiques, de désinfectants).

Transport routier : désigne le transport terrestre de marchandises ou de personnes par la route. La définition englobe également les infrastructures routières (p. ex. réseau routier, ponts et ponceaux), les activités d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. déforestation, drainage, terrassement), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. production de poussières et d'aérosols, bruit, modification du climat local, fragmentation des habitats).

Pétrole et gaz : désigne l'ensemble des activités liées à l'exploration (p. ex. relevés sismiques) et à l'exploitation (p. ex. forage) des ressources pétrolières et gazières en milieu marin. La définition englobe également les infrastructures (p. ex. plateformes de forage, pipeline), les activités d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. battage de pieux, dynamitage), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. résidus de forage, émissions atmosphériques, déversements accidentels, pollution lumineuse).

Pêches : désigne l'ensemble des activités de capture d'animaux aquatiques dans leur milieu naturel, que ce soit de façon ciblée (pêches commerciale, récréative ou de subsistance) ou non (prises accessoires). La définition s'étend aussi aux activités de transformation primaire et secondaire, où les organismes sont préparés pour la distribution sur le marché.

Foresterie : désigne l'ensemble des activités reliées à l'exploitation des forêts. La définition englobe également les infrastructures (p. ex. chemins forestiers, ponceaux, traverse à gué), les activités d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. défrichage, débroussaillage, drainage, remblai, plantation), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. changement de la structure et des conditions environnementales des écosystèmes, compaction des sols, fragmentation d'habitat, ruissellement).

Agriculture : désigne l'ensemble des activités liées à l'aménagement du milieu naturel pour la production végétale ou l'élevage d'animaux afin de satisfaire les besoins des sociétés humaines. La définition englobe également les infrastructures (p. ex. système d'irrigation, silos), les activités d'aménagement, de construction et d'entretien de ces infrastructures (p. ex. déforestation, drainage, remblai), ainsi que les rejets ou les autres conséquences engendrés par ces activités (p. ex. épandage, pulvérisation de fertilisants ou de pesticides, utilisation d'hormones pour l'élevage).

Annexe 4. Glossaire des modèles spécifiques écologiques.

Les définitions qui suivent sont adaptées aux besoins du document.

Impact

Perte de superficie de la zone intertidale : réduction de l'étendue de l'estran (ou zone de marnage).

Perte de la qualité du substrat : changement des caractéristiques (p. ex. taille des particules sédimentaires, concentration en oxygène dissous, en matière organique, en contaminants) des sédiments du fond marin ou de l'estran.

Érosion/accumulation de sédiments : processus de dégradation (érosion) ou d'amoncellement de matériel (accumulation) provoqué par des facteurs d'origine naturelle (p. ex. vagues, vent) ou humaine (p. ex. déforestation, constructions) et conduisant à la transformation du relief.

Colmatage : obstruction faisant suite à la modification d'un apport en sédiments, en matière organique ou en nutriment.

Eutrophisation : modification et dégradation d'un milieu aquatique généralement expliqué par un apport excessif de substances nutritives, ce qui conduit à l'augmentation de la production d'algues et de plantes aquatiques et, conséquemment, au vieillissement prématuré du milieu.

Malformation : altération morphologique congénitale d'un tissu ou d'un organe faisant suite au développement anormal de l'embryon causé par l'exposition à un contaminant présent dans l'environnement.

Bioaccumulation : désigne la capacité des organismes à absorber, concentrer et accumuler certaines substances chimiques à des concentrations supérieures à celles mesurées dans le milieu.

Relation proie-prédateur : correspond à la perturbation des liens trophiques qui relient différentes espèces où certaines, correspondant à des niveaux trophiques inférieurs, sont susceptibles de se faire capturer et consommer (proies) par d'autres, appartenant à des niveaux trophiques supérieurs (prédateurs).

Toxicité : correspond à la capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes et nuisibles pour un organisme.

Reproduction : désigne toute perturbation affectant une ou plusieurs étapes du processus par lequel une espèce se perpétue, en engendrant de nouveaux individus.

Éclosion des œufs : correspond à la perturbation du processus d'éclosion, soit la sortie d'un animal de son enveloppe protectrice (œuf).

Survie des larves : désigne la modification du taux de survie des larves, soit la quantité de larves (premier stade de développement d'un organisme après l'éclosion) qui se rendent à un stade de maturité plus avancé.

Taille des individus : désigne la modification de la dimension d'un organisme induite par une perturbation quelconque.

Diminution des géniteurs : réduction du stock ou de la population composée d'individus ayant atteint la maturité sexuelle et assurant la survie de l'espèce.

Cannibalisme : comportement qui consiste à consommer un individu de sa propre espèce.

Facteur de stress humain (susceptible de causer l'altération de la zone côtière)

Modification de la zone riveraine : modification ou altération des conditions originales de la zone riveraine, soit la zone de transition entre un plan d'eau naturel et la végétation en zone sèche, en réponse à des activités humaines ou des facteurs de stress d'origine humaine (p. ex. dévégétalisation, enrochement, remblais, piétinement).

Modification du régime hydrique : modification ou altération des conditions originales de la circulation des eaux (p. ex. ruissellement, infiltration, évaporation) en réponse à des activités humaines ou des facteurs de stress d'origine humaine (p. ex. construction de barrages, de ponts, déviation de cours d'eau, déforestation).

Modification de la température et de la salinité de l'eau : modification des conditions originales de température et salinité de l'eau en réponse à des activités humaines ou des facteurs de stress d'origine humaine (p. ex. déforestation, construction de barrages, déviation des cours d'eau).

Modification d'apport de matière organique ou nutriments : modification des conditions originales d'apport de matière organique (composés carbonés dissous ou particulaires d'origine végétale ou animale) et de nutriments (substance organique ou minérale directement assimilable par l'organisme) en réponse à des activités humaines ou des facteurs de stress d'origine humaine (p. ex. rejet d'eaux usées, eaux de ballast, déforestation, épandage).

Introduction de contaminants : désigne l'apport artificiel de tout agent biologique ou chimique dans l'environnement en réponse à des activités humaines ou des facteurs de stress d'origine humaine (p. ex. émissions atmosphériques, utilisation de peinture antisalissure, déversement accidentel) et pouvant compromettre l'intégrité du milieu ou des organismes présents.

Facteur modulateur humain et naturel

Marché : ce concept de marché peut ici prendre plusieurs définitions. Il peut s'agir d'un marché propre à une région (p. ex. le marché japonais, le marché canadien) ou d'un marché propre à une espèce ou à un produit (p. ex. nourriture destinée à l'aquaculture, œufs de capelan, bouette) ou tout simplement du jeu de l'offre et de la demande en général.

Gouvernance : participation et concertation d'acteurs provenant de divers secteurs publics, privés et/ou civiques, au processus de supervision, de contrôle et d'orientation des différents secteurs

d'activités économiques (p. ex. pêche, foresterie, production d'énergie) afin d'en assurer un bon fonctionnement et une prise de décision stratégique. Concrètement, le processus de gouvernance peut inclure l'adoption de lois et règlements, et de mesures et stratégies de gestion. Toute modification dans le processus de gouvernance peut se répercuter sur le comportement des acteurs économiques (p. ex. hausse ou baisse de la demande, de l'emploi, de la production).

Changements climatiques : correspond aux modifications de climat attribuées directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (Millenium Ecosystem Assessment 2005). Les changements climatiques d'origine anthropique sont particulièrement attribuables aux émissions de gaz à effet de serre (p. ex. utilisation de combustibles fossiles, déforestation, rejet de méthane par les activités agricoles).

Cycle de vie : période de développement complète d'un organisme, incluant chacun de ses stades de maturité, ainsi que les étapes qui caractérisent ces stades (p. ex. croissance, reproduction).

Activité humaine

Prises accessoires dans les autres pêches : désigne les captures accidentelles d'espèces non visées ou d'individus non ciblés (p. ex. pour des raisons de taille, de maturité) par un effort de pêche donné.

Pêche commerciale : désigne toute activité de pêche enregistrée auprès du ministère des Pêches et des Océans et qui est effectuée à l'aide d'engins de pêche autorisés en vertu d'un permis de pêche commerciale.

Pêche à des fins alimentaires, sociales et rituelles (ASR) : désigne une pêche effectuée par des groupes autochtones à des fins alimentaires, sociales et rituelles.

Pêche récréative : désigne la pêche qui n'est pas considérée comme étant commerciale.

Annexe 5. Glossaire des modèles spécifiques socio-économiques et culturels

Les définitions qui suivent sont adaptées aux besoins du document.

Conséquence socio-économique et culturelle (directe)
Oiseaux : ensemble des espèces d'oiseaux de mer qui présentent un lien trophique avec le capelan (p. ex. macareux moine, sterne arctique, mouette tridactyle) et qui sont à la base de services culturels ou supportent des activités à caractère économique (activités récréotouristiques).

Mammifères marins : ensemble des espèces de mammifères marins qui présentent un lien trophique avec le capelan (p. ex. marsouin commun, petit rorqual, phoque du Groenland) et qui sont à la base de services culturels ou supportent des activités à caractère économique (activités récréotouristiques).

Autres espèces commerciales : ensemble des espèces de poissons, crustacés ou mollusques commercialement exploités et qui présentent un lien trophique avec le capelan (p. ex. morue, sébaste, flétan, crevette). Ces espèces sont à la base de services culturels ou supportent des activités à caractère économique (p. ex. pêcheries, activités de transformation, activités récréotouristiques).

Investissement : somme d'argent placée ou utilisée pour renforcer le potentiel d'une entreprise ou d'un secteur d'activités.

Emplois : nombre d'emplois dépendant d'un secteur d'activités déterminé (p. ex. pêche, tourisme) ou d'une industrie particulière (p. ex. usine de transformation de poisson, entreprise d'observation aux baleines).

Revenu : montants pécuniaires perçus par un individu (p. ex. salaire, héritage), une collectivité (p. ex. cotisations sociales, dons) ou une entreprise (p. ex. vente, subvention).

Heures travaillées : nombre d'heures travaillées dans un secteur d'activités déterminé (p. ex. pêche, tourisme) ou dans une industrie particulière (p. ex. usine de transformation de poisson, entreprise d'observation aux baleines).

Effets indirects et induits : les effets **indirects** correspondent aux changements socio-économiques (p. ex. variation de la production, du taux d'emploi, des revenus, des investissements) découlant de la consommation intermédiaire, c'est-à-dire des effets ressentis dans les secteurs d'activités et les entreprises qui fournissent les produits ou services (intrants) (p. ex. sous-traitants, fournisseurs, entreprises d'entretien ménager) aux secteurs d'activités ou entreprises de première ligne. Les effets **induits** correspondent aux changements socio-économiques (p. ex. variation de la production, du taux d'emploi, des revenus, des investissements) engendrés par les dépenses et les investissements effectués par les salariés dans l'économie régionale (p. ex. achats de biens et services, investissements en logement).

Valeur esthétique : valeur accordée à l'écosystème en raison de sa beauté et autres critères esthétiques (p. ex. paysages, espèces animales ou végétales).

Valeur socioculturelle : valeur accordée à l'écosystème en raison des usages spirituels, religieux, traditionnels qu'ils supportent (p. ex. feu de la Saint-Jean sur la plage, lieux de culte).

Valeur de subsistance : valeur accordée à l'écosystème en raison des biens et services essentiels (indispensables) qu'il fournit (p. ex. eau, air).

Valeur de connaissance/d'apprentissage : valeur accordée à l'écosystème en raison du support qu'il fournit à l'acquisition de nouvelles connaissances (p. ex. les avions existent parce que quelqu'un a observé le vol des oiseaux)

Valeur patrimoniale (ou valeur d'existence) : valeur de non-usage simplement liée au fait qu'un patrimoine existe. Les valeurs de non-usage sont définies comme des valeurs relatives à la satisfaction de savoir qu'un actif ou un état de fait désirable existe. Ces valeurs sont souvent liées à la notion de respect de la nature et permettent de justifier la protection d'espèces ou de sites naturels connus.

Valeur récréative : valeur retirée de l'utilisation de l'écosystème à des fins récréatives (p. ex. randonnée en montagne, baignade dans une rivière, observation d'oiseaux).

Conséquence socio-économique et culturelle indirecte

Coût : ensemble des dépenses d'une entreprise ou d'un secteur d'activités nécessaires à la réalisation de la production ou de l'activité économique. Les prix des biens et services offerts par cette entreprise ou ce secteur d'activité sont fixés, en partie, selon les coûts engendrés.

Industries affectées directement

Pêche au capelan : désigne l'ensemble des activités de prélèvement (autorisées ou non) de la biomasse du capelan dans son milieu naturel, que ce soit de façon ciblée (pêches commerciale, récréative ou de subsistance) ou non (prises accessoires).

Pêche – autres espèces : désigne l'ensemble des activités de prélèvement (autorisées ou non) de la biomasse de poissons (autres que le capelan), de crustacés, de mollusques dans leur milieu naturel, que ce soit de façon ciblée (pêches commerciale, récréative ou de subsistance) ou non (prises accessoires).

Transformation du capelan : ensemble des activités de transformation primaire ou secondaire du capelan.

Transformation – autres espèces : ensemble des activités de transformation primaire ou secondaire des espèces de poissons (autres que le capelan), de crustacés, de mollusques.

Industries affectées indirectement

Infrastructure portuaire : ensemble des installations côtières constituant un port (p. ex. brise-lames, quais, cales sèches, écluses, rampes de mise à l'eau), des équipements fixes permettant le fonctionnement d'un port (p. ex. grues, autres engins de manutention, entrepôts, ateliers d'entretien, autres bâtiments) et des moyens de transport qui y sont reliés (chemin de fer, routes).

Facteur modulateur humain

Démographie : description statistique et quantitative d'une population humaine (p. ex. nombre, structure d'âge, sexe, taux de natalité, taux d'émigration) et de son évolution dans le temps et dans l'espace, en fonction des caractéristiques sociales, culturelles, économiques et biologiques du milieu.

Gouvernance : participation et concertation d'acteurs provenant de divers secteurs publics, privés et/ou civiques, au processus de supervision, de contrôle et d'orientation des différents secteurs d'activités économiques (p. ex. pêche, foresterie, production d'énergie) afin d'y assurer un bon fonctionnement et une prise de décision stratégique. Concrètement, le processus de gouvernance se traduit, par exemple, par l'adoption de lois et règlements, de mesures et stratégies de gestion. Toute modification dans le processus de gouvernance peut se répercuter sur le comportement des acteurs économiques (p. ex. hausse ou baisse de la demande, de l'emploi, de la production).

Annexe 6. Description des facteurs de stress susceptibles de causer l'altération de la zone côtière

Les descriptions qui suivent s'appliquent spécifiquement au modèle écologique de la zone de fraie et d'alevinage.

Modification de la zone riveraine

La hausse planétaire des températures causée par l'activité humaine affecte des variables liées à l'érosion. En effet, des hivers plus doux causent une réduction de la production des glaces de mer et de terre, ce qui diminue la protection des rives lors des tempêtes hivernales. Le réchauffement planétaire contribue également à l'augmentation du niveau de la mer et à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes (Bernatchez et Dubois 2004). Ces effets amplifient le processus de l'érosion des berges et du recul des littoraux. Pour limiter l'impact de l'érosion et le recul important de certaines plages et falaises, certaines municipalités et propriétaires riverains ont mis en place des ouvrages de protection (p. ex. enrochement, muret de bois ou de béton) ou ont entrepris le rechargement artificiel des plages, qui consiste à engraisser une plage avec du matériel comme du sable ou du gravier pour la restaurer. Ces techniques modifient toutefois la dynamique naturelle du littoral. D'ailleurs, des études menées entre 1996 et 2006 par Savard *et al.* (2008) dans la région de Sept-Îles ont démontré une réduction de 84 % de la largeur des plages en bordure des segments côtiers ayant été enrochés.

Les constructions humaines destinées à la régulation des cours ou plans d'eau (p. ex. barrages hydroélectriques, barrages de retenue, digues) ont également un impact sur la zone riveraine. Par exemple, la régularisation du débit des rivières a pour effet de diminuer l'érosion des berges en aval des ouvrages au moment de la crue, mais réduit également la quantité de sédiments apportée par la rivière endiguée vers la mer (changement du régime sédimentaire) (Savard *et al.* 2008). Par ailleurs, la réduction du débit d'une rivière harnachée permet aux vagues de tempêtes de pénétrer plus loin à l'intérieur de la terre et ainsi d'intensifier l'érosion de la côte à l'embouchure des rivières (Lajoie *et al.* 2007). Ainsi, bien que l'érosion soit un processus naturel, il peut être accéléré par l'artificialisation des côtes et cours d'eau.

Modification du régime hydrique

La majorité des apports d'eau douce de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent provient de ses nombreux bassins versants (Dufour et Ouellet 2007). Au cours des prochaines années, l'augmentation de la température, causée par les changements climatiques, deviendra l'une des principales sources de variation du débit d'eau douce (Dufour et Ouellet 2007). Ainsi, l'augmentation d'un degré Celsius à l'échelle mondiale devrait se traduire par une augmentation de 4 % des précipitations (Labat *et al.* 2004). Sur l'ensemble des bassins versants des Grands Lacs et du golfe du Saint-Laurent, les modèles climatiques prévoient une augmentation des précipitations. Selon ces modèles, les étés devraient être plus secs, alors que les hivers devraient connaître davantage de précipitations (IPCC 2001 : cité dans Dufour et Ouellet 2007). Les changements climatiques pourraient également affecter les courants marins, principalement à la suite de la fonte des glaciers. Tous ces changements risquent d'influencer les relations prédateur-proie (relations trophiques) en engendrant des modifications au niveau de la production primaire et de la migration de diverses espèces marines (Anderson et Möllmann 2004).

La modification du régime hydrique du Saint-Laurent (estuaire et golfe) par les activités humaines (principalement des ouvrages de régularisation) et les changements climatiques peut aussi influencer le régime sédimentaire, la température et la salinité de l'eau, l'apport de matière organique et de nutriments, ainsi que la santé des écosystèmes (Pierson *et al.* 2002, Hudon et Carignan 2008). Ces modifications sont expliquées plus en détail dans leurs sections respectives. Toutefois, selon Bourgault et Koutitonsky (1999), les variations de régime hydrique causées par les activités humaines sont beaucoup moins importantes que celles causées par la nature. D'un autre côté, les opérations hydroélectriques sont conçues pour répondre à la fluctuation des demandes en électricité, ce qui modifie grandement le régime hydrique naturel (Clarke *et al.* 2008). Encore de nos jours, peu d'études évaluent la totalité des impacts cumulatifs à grande échelle du développement hydroélectrique. Elles se concentrent habituellement sur les impacts locaux et font abstraction des systèmes côtiers et marins souvent situés à plusieurs centaines de kilomètres en aval du barrage (Rosenberg *et al.* 2007). Les barrages hydroélectriques et autres ouvrages de régularisation affectent l'amplitude et la fréquence du débit des rivières en régularisant les débits très forts et très faibles, ce qui a pour effet de réduire la quantité des sédiments transportés par le courant (Clarke *et al.* 2008). La réduction de la taille des sédiments qui s'échappent du réservoir est également observée (Brandt 2000).

Modification de la température et de la salinité de l'eau

La modification de la température ou de la salinité de l'eau peut s'expliquer par les effluents provenant des divers secteurs d'activités humaines, mais également par les variations naturelles ou artificielles des apports en eau douce. De tels changements dans les conditions du milieu peuvent avoir des conséquences majeures sur la distribution ou les paramètres biologiques (comme le taux de survie des larves, d'éclosion des œufs ou de malformations) de certaines espèces, tels que le capelan ou ses proies (Stergiou 1991, Frank *et al.* 1996, Jàkupsstovu et Reinert 2002, Bacon *et al.* 2005, Rose 2005, MPO 2008b). Ces changements se répercuteront inévitablement sur les relations trophiques du milieu.

Les effluents des usines de traitement des eaux municipales et les eaux de ruissellement peuvent contribuer à l'augmentation thermique des eaux réceptrices, parce qu'elles sont généralement plus chaudes que les eaux dans lesquelles elles se déversent (EC 2001). Les eaux pluviales sont réchauffées par les surfaces urbaines chaudes, telles que les routes et les toits lorsqu'elles ruissellent, pour rejoindre les égouts pluviaux. L'augmentation de la température peut également se produire dans les installations de régulation des eaux de ruissellement, particulièrement dans les bassins d'eau pluviale où le temps de séjour est prolongé (EC 2001). Schueler (1987) a démontré que durant les mois d'été, la température des effluents de ces bassins peut être plus chaude de 10 °C par rapport à celle des eaux à l'entrée. Le secteur des activités industrielles risque d'induire des effets similaires dans le milieu. Les effluents des usines de pâtes et papiers, des alumineries et des aciéries de même que des usines de transformation de poissons, peuvent provoquer des augmentations de la température de l'eau dans les milieux récepteurs et modifier la salinité (Morry *et al.* 2003, EC 1998, 2003 et 2005). Enfin, les eaux de ruissellement en provenance des terres agricoles et forestières peuvent aussi contribuer à modifier la température de l'eau. Les particules sédimentaires du sol absorbent la chaleur du soleil. Ainsi, après la pluie, les particules de sédiments arrachées au sol se retrouvent en suspension et accroissent la température de l'eau (EC 2008). De plus, les rivières aux rives dévégétalisées seront plus directement exposées aux rayons du soleil. Leur température sera, par conséquent, plus élevée.

Le changement de température de l'eau occasionné par un ouvrage de régularisation, comme un barrage, dépend de plusieurs facteurs, tels que les caractéristiques physiques du cours d'eau, la taille du barrage, le niveau de production en hydroélectricité, la période de décharge du réservoir, la provenance de l'eau du réservoir (couche supérieure ou inférieure) (Webb 1995). La variabilité du climat et celle de la demande énergétique annuelle nécessitent que la gestion d'un barrage soit ajustée. Elles peuvent causer des variations interannuelles significatives dans le régime thermique de l'eau en aval du barrage (Webb et Walling 1996). La régulation du débit des rivières harnachées peut contribuer à augmenter la température moyenne de l'eau lorsque celle-ci provient des couches supérieures du réservoir. Au contraire, lorsque l'eau est issue des couches d'eau inférieures du réservoir, le phénomène inverse est observé (Clarke *et al.* 2008). Les effets des variations de température de l'eau provenant des rivières harnachées peuvent s'étendre jusqu'à une distance de 400 km en aval du barrage (Holden et Stalnaker 1975).

Modification de l'apport en sédiments ou en nutriments

La matière organique et les nutriments du sol sont transportés par l'action de l'eau (pluie ou fonte des neiges). Les eaux des rivières contiennent généralement de plus fortes concentrations de substances nutritives que les eaux superficielles de l'océan. Elles peuvent donc constituer une source importante de nutriments pour les eaux estuariennes ou côtières (Yeats 1988). Selon Sutcliffe (1973), les variations d'apport en eau douce sont fortement corrélées avec la production de poissons dans le golfe du Saint-Laurent, ce qui suppose que les modifications dans l'apport de substances nutritives dues à des changements de débits d'eau douce peuvent être importantes (Yeats 1988, MCI 2009a).

Les ouvrages de régularisation des cours ou plan d'eau affectent le régime hydrique, les cycles biochimiques et le transport de matière organique et de nutriments de l'amont vers l'aval. Les barrages modifient l'écoulement de l'eau (débit) tout au long de l'année en atténuant les crues printanières. Ce nouveau régime provoque des changements de la quantité et des caractéristiques (comme la charge en matière particulaire ou en sels nutritifs) de l'eau qui s'écoule vers les milieux aquatiques riverains (Dufour et Ouellet 2007). Les réservoirs produisent localement une hausse de la sédimentation des particules en suspension, privant l'embouchure de la rivière d'un apport en matière organique et de nutriments (Friedl et Wuest 2002), ce qui affecte la productivité biologique des zones côtières (Clarke *et al.* 2008).

L'apport de matière organique ou de nutriments dans le milieu peut être accentué par différentes activités ou actions humaines. Par exemple, la diminution du couvert forestier (déforestation) et son remplacement par des surfaces dénudées, dures et imperméables favorisent l'érosion, donc un transport accru de matière organique et de nutriments dans les cours d'eau par lessivage. Par exemple, les bâtiments, les rues pavées et les stationnements sont autant de surfaces imperméables qui altèrent l'hydrologie, en empêchant l'infiltration de l'eau dans le sol et en l'envoyant rapidement vers le réseau hydrique (EC 2001). Les eaux qui ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol ruissellent en surface et vont lessiver et éroder tout sol qui est à nu. Selon le MCI (2009a), un terrain de construction dénudé érode de 10 à 100 tonnes de sol par acre par année, ce qui équivaut à un taux d'érosion 10 fois supérieur au taux d'érosion des terres agricoles, 200 fois supérieur à celui d'un pâturage et 2000 fois supérieur au taux normal d'érosion d'une forêt. Aussi, les routes et les voies d'accès mal construites ou en mauvais état

sont des sites d'érosion potentiels. Un ponceau mal stabilisé ou une chaussée trop fine augmentent le lessivage, ce qui augmente les chances que l'ouvrage s'éventre complètement, entraînant de grandes quantités de sédiments vers l'écosystème marin (MCI 2009a).

Les activités forestières ou agricoles favorisent aussi l'apport de matière organique localement. Les activités de coupe et le drainage forestier altèrent l'hydrologie du bassin versant (RNC 2008). Le sol, privé de la végétation qui agit comme une couche protectrice, est davantage exposé à l'érosion, ce qui mène à l'accélération du transport de matière organique par ruissellement. De plus, le passage répété de la machinerie lourde à proximité des cours d'eau peut envoyer des quantités importantes de sédiments dans le réseau hydrique (MCI 2009a). Les engrais organiques (fumier) ou chimiques (azote, phosphore, potassium et quelques oligo-éléments) utilisés en agriculture et qui ne sont pas absorbés par la végétation terrestre sont transportés par les eaux de ruissellement et aboutissent à la zone riveraine où ils alimentent les végétaux aquatiques (AAC 1998, MCI 2009b). Lors des labours, les sols mis à nu sont sensibles à l'érosion puisqu'ils sont exposés à l'action de l'eau transportant la matière organique et les nutriments (AAC 1998). Des études ont révélé qu'une acre de sol agricole en pente douce sans protection végétale peut laisser partir jusqu'à sept tonnes de sol par an vers le réseau hydrique (MCI 2009a). Lorsque les animaux d'élevage ont librement accès aux cours d'eau et à leurs bandes riveraines, ils piétinent le rivage de leurs sabots, ce qui détruit la végétation en place et envoie des quantités importantes de sédiment dans le réseau hydrique.

Les activités portuaires peuvent remettre en circulation de la matière organique ou des nutriments présents dans les sédiments locaux. Après le départ des glaces, l'augmentation de l'activité maritime permet la remise en suspension des sédiments accumulés au fond, ce qui augmente la turbidité (Misic et Covazzi Harriague 2009). Les activités de dragage causent aussi la remise en suspension des sédiments du fond, ce qui libère de grandes quantités de nutriments et de matière organique et augmente la turbidité du milieu (Kennish 1992).

Plusieurs secteurs d'activité humaine engendrent des rejets d'eau chargée en matière organique ou en nutriments, conduisant à un enrichissement artificiel du milieu local. Les eaux municipales partiellement ou non traitées et rejetées dans les cours d'eau, de même que les résidences dont les fosses septiques sont mal entretenues ou celles qui n'en ont pas, laissent fuir une grande quantité de matière organique et d'éléments nutritifs, particulièrement du phosphore et des composés azotés, vers les écosystèmes marins (EC 2001, Colmenarejo *et al.* 2006, Dufour et Ouellet 2007, MCI 2009b). Les effluents provenant de l'industrie des pâtes et papiers ont généralement des contenus élevés en particules de matière organique constituée de fibre de bois et de composés organiques dissous, incluant des résines et des acides gras (Hynynen *et al.* 2004, Bijan et Mohseni 2005). Les usines de transformation de poissons et d'invertébrés utilisent de grandes quantités d'eau. Les effluents de ces usines rejettent dans l'environnement des matières solides en suspension, des huiles, des microorganismes, de la matière organique et des nutriments (Carawan 1991, Morry *et al.* 2003, Islam *et al.* 2004). Les déversements d'eaux usées et de déchets organiques provenant des navires augmentent l'apport en nutriments et en matière organique dans les ports et les marinas (Greig et Alexander 2009, Misic et Covazzi Harriague 2009). En aquaculture, la matière organique et les nutriments sont introduits dans le milieu aquatique par la nourriture non consommée des poissons et les fèces des organismes cultivés en se déposant sous les structures d'élevage.

Les conséquences de ces enrichissements ou appauvrissements des milieux côtiers en matière organique ou en nutriments varient selon les conditions environnementales locales (p. ex. courant, topographie). Cependant, elles provoqueront invariablement un effet sur la production biologique locale ou la qualité du milieu (par exemple, en induisant du colmatage sur les plages importantes pour le fraie du capelan), ce qui pourrait ensuite affecter le développement du capelan ainsi que les relations trophiques.

Introduction de contaminants

Plusieurs contaminants sont introduits dans l'écosystème marin par les eaux de ruissellement, les effluents urbains et industriels et par voie atmosphérique (sous la forme de gaz ou d'aérosols) (Dufour et Ouellet 2007). Les contaminants sont généralement transportés par des sédiments en suspension, liés à des minerais ou à des matières organiques (Dufour et Ouellet 2007). Les particules plus lourdes se déposent à proximité de la source, alors que les particules plus fines peuvent se déplacer sur une plus longue distance et se déposer dans une zone de faible courant. (MPO 2003). La sédimentation et les effets à distance des contaminants dépendent des caractéristiques de la source (intensité de l'activité responsable de l'introduction du contaminant) et des conditions environnementales (p. ex. profondeur de l'eau, vitesse des courants) à proximité de la source (MPO 2003).

Plusieurs activités humaines introduisent des contaminants persistants et bioaccumulables dans le milieu. Par exemple, une grande quantité de métaux (mercure, plomb, cadmium, zinc et fer) proviennent des effluents urbains, des déchets industriels, du dragage, et des activités aquacoles et agricoles. Ils sont retrouvés dans le biote sous forme organique, donc bioaccumulables (Stewart et White 2001). Les pesticides, provenant principalement de l'industrie agricole et forestière, sont libérés dans les eaux de ruissellement qui se déversent dans les eaux du littoral. Selon Giroux (2004), après de fortes pluies, un plus grand nombre de pesticides différents se retrouvent dans les eaux de ruissellement. De nombreux pesticides (p. ex. BPC, DDT et ses métabolites, mirex, toxaphène) sont des composés très persistants qui s'accumulent dans les sédiments et dans les organismes (Dufour et Ouellet 2007), tout comme le tributylétain (TBT) contenu dans les peintures antisalissure.

D'autres contaminants, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), peuvent provenir de sources naturelles, tels les incendies de forêt et les fuites de gaz naturel provenant du milieu marin, mais aussi d'activités industrielles (p. ex. alumineries, aciéries, installations pétrolières). Ces composés sont moins persistants et bioaccumulables que les polluants organiques persistants (POP), mais présentent tout de même un effet toxique pour les organismes exposés (Dufour et Ouellet 2007).

Annexe 7. Description des impacts potentiellement engendrés par l'altération de la zone côtière

Les descriptions qui suivent s'appliquent spécifiquement aux modèles écologiques.

Perte de superficie de la zone intertidale

L'abaissement et l'érosion des plages font en sorte que les barres de sable ne s'accolent plus à la côte et migrent devant les zones de plages fortement en déficit. Ce phénomène a pour effet de faire disparaître la plage (Savard *et al.* 2008). De plus, lorsque la zone intertidale est caractérisée par un substrat de sable et de vase et qu'elle subit un bilan sédimentaire négatif, des ouvrages de stabilisation peuvent contribuer à augmenter l'érosion et à favoriser le lessivage de la zone jusqu'à la couche argileuse (Lajoie *et al.* 2007). Le dragage, en déplaçant ou en relocalisant les sédiments du fond, peut également mener à la destruction d'habitats potentiellement importants pour le capelan (Kennish 1992). La disparition ou la destruction de plage, lieu de fraie essentiel pour le capelan, peut produire des effets néfastes sur les populations.

Érosion/accumulation de sédiment

L'érosion des berges cause la disparition d'habitats du capelan et d'autres espèces (Lajoie *et al.* 2007). Ce phénomène naturel peut être accentué par diverses activités humaines. Les infrastructures de stabilisation côtière, qui visent la protection de la côte, provoquent une augmentation du transit sédimentaire, ce qui a pour effet d'empêcher le littoral d'avancer et de modifier négativement le bilan sédimentaire (Savard *et al.* 2008). Ces infrastructures empêchent l'apport de sédiments du haut de la plage, privant ainsi la zone intertidale d'une source de sédiments. De la même façon, les barrages hydroélectriques, les ouvrages de régularisation du débit des rivières et le contrôle des embâcles, en réduisent la fréquence et l'amplitude des débits, entravent l'alimentation des plages en sédiments et en matière organique (Pierson *et al.* 2002, Lajoie *et al.* 2007, Clarke *et al.* 2008, Hudon et Carignan 2008, Savard *et al.* 2008). En contrepartie, la régularisation du débit des rivières a pour effet de diminuer le phénomène d'érosion des berges en aval des ouvrages au moment de la crue. Cependant, la réduction de l'apport en sédiments et la baisse de débit d'une rivière harnachée permettent aux vagues de tempêtes de rentrer plus profondément dans la rivière et ainsi d'intensifier l'érosion de la côte à l'embouchure des rivières (Lajoie *et al.* 2007). Par ailleurs, le passage répété des piétons, des véhicules tout-terrain et des camions utilitaires (camionnette) sur les rives, par exemple lors des activités de pêche récréative et à des fins alimentaire, sociale et rituelle (ASR), peut endommager la végétation et rendre le substrat plus disponible lors des tempêtes et donc contribuer au processus d'érosion des berges et à la disparition des plages (Lajoie *et al.* 2007).

Perte de la qualité de substrat

La perte de la qualité du substrat peut se traduire par un changement du type de substrat (p. ex. roc, sable, gravier, sédiments fins), lequel est un facteur déterminant dans le choix du site de ponte des capelans. Selon Nakashima et Taggart (2002), les capelans sélectionnent les plages où ils vont pondre en fonction, entre autres, de la structure de taille des sédiments (granulométrie). Par conséquent, un changement de la dimension des sédiments peut amener les capelans à déserter une plage. Différents processus peuvent expliquer la modification de la granulométrie d'une plage. Par exemple, l'érosion des berges, qui est à l'origine de la modification de la largeur

de la plage, et le rechargement artificiel des plages, qui pourrait contribuer à la modification du type de substrat, peuvent entraîner la disparition des aires de fraie pour le capelan (Lajoie *et al.* 2007). Les barrages hydroélectriques et autres ouvrages de régulation diminuent l'amplitude du débit des rivières et privent celles-ci de la présence de fortes crues (amplitude, fréquence et durée) ce qui modifie le modèle de déposition des sédiments en aval du barrage (Petts 1979). Par ailleurs, les barrages emprisonnent une grande quantité de matière organique et de nutriments ce qui réduit le potentiel d'apport sédimentaire d'une rivière. Ces effets combinés des ouvrages de régulation conduisent à une modification de la granulométrie des fonds marins à proximité de l'embouchure des rivières (Clarke *et al.* 2008).

Les variations de l'apport en matière organique et en nutriments peuvent également affecter la qualité du substrat en modifiant tant la granulométrie, que d'autres caractéristiques du substrat. Par exemple, la matière organique et les nutriments du sol provenant des eaux de ruissellement du milieu urbain, du secteur agricole et forestier sont transportés par les cours d'eau vers les eaux côtières. Lorsqu'une particule du sol est détachée de son milieu par l'action de l'eau, elle devient de la matière en suspension. Les nutriments du sol, habituellement peu solubles, s'accolent à ces particules en suspension et sont transportés par l'eau (MCI 2009a). En aquaculture, les granules de nourriture non consommées et les excréments de poissons entraînent habituellement une hausse des concentrations locales de particules en suspension ou déposées au fond. Les distances et les emplacements des accumulations de ces particules en suspension sont propres à chaque site et dépendent de la topographie du fond, des courants et des processus d'érosion et de floculation qui influent sur le temps de séjour de la matière tant dans la colonne d'eau (Sutherland *et al.* 2001) qu'au fond (Milligan et Loring 1997). Dans les eaux côtières du Danemark, Holmer (1991) a échantillonné de la matière provenant directement d'une pisciculture jusqu'à 1.2 km de celle-ci. Lorsqu'une couche importante de matière en suspension se dépose au fond, elle modifie la granulométrie et la qualité du substrat (MCI 2009a). L'établissement d'une salmoniculture serait responsable de l'abandon d'une frayère par une population de homards, probablement suite à la modification du type de fond par le dépôt accru de matière fine floculée provenant des granules de nourriture non consommées et des excréments de poissons, donnant un sédiment plus fin (Lawton et Robichaud 1991).

L'eutrophisation provoquée par l'apport excessif en nutriments et en matière organique provenant des effluents urbains, industriels (pâtes et papiers), des effluents des usines de transformation de la pêche, des eaux usées de l'industrie maritime ainsi que des activités de dragage, entraîne des conditions anoxiques qui altèrent la qualité du substrat (Riegman 1995, EC 2003, Norring et Jorgensen 2009). Les plages situées à proximité d'une source de polluants ont généralement des sédiments contaminés (Lebeuf *et al.* 1999). Comme la majorité des contaminants transportés par des particules en suspension est emmagasinée dans les sédiments, ceci a pour effet de détériorer la qualité du substrat en rendant les contaminants disponibles pour les organismes. Par conséquent, l'habitat de fraie du capelan est exposé aux contaminants et ceux-ci peuvent provoquer des perturbations importantes de son cycle de vie.

Colmatage

Lorsque les sédiments se déposent en quantité suffisante sur une frayère, ils peuvent asphyxier les œufs qui sont présents et détruire le potentiel du site en tant qu'aire de reproduction pour les années subséquentes (Parent et Brunel 1976, EC 2001, MCI 2009a). En diminuant le taux de

survie des œufs, le colmatage des aires de fraie peut avoir de graves impacts sur la structure de la communauté. Toutefois, le processus de déposition s'opère sur une longue période (Petts 1979) et l'action des vagues peut diminuer le phénomène de déposition et atténuer l'effet de colmatage (Moss *et al.* 2006).

Le transport de matière organique et de nutriments est un phénomène naturel et non dommageable pour les écosystèmes tant qu'il ne dépasse pas la capacité de support du milieu. Certaines pratiques d'utilisation des sols en urbanisme, en foresterie et en agriculture, telle la mise à nu des sols, peuvent cependant conduire à un envasement des écosystèmes aquatiques ou encore, à l'effondrement de route ou de ponceau (Moss *et al.* 2006, MCI 2009a). Le dépôt en excès de matière en suspension provenant des effluents (urbains, industriels et des usines de transformation), des eaux usées du transport maritime, du dragage et des déchets organiques de l'industrie aquacole, peut également contribuer à la sédimentation et au colmatage de frayères (Kennish 1992, EC 2001). Les barrages hydroélectriques et autres types d'ouvrages de régularisation contribuent aussi au phénomène de colmatage des sites de ponte en favorisant un apport de sédiments plus fins dans le milieu (voir section précédente) (Pierson *et al.* 2002). Plus précisément, à proximité du barrage, la gestion des débits conduit à l'érosion des berges et au lessivage, tandis que plus en aval, une diminution de l'érosion est observée. La portion des sédiments plus fins est transportée et se dépose le long de la rivière jusqu'à la zone côtière. Il a été démontré que ces sédiments fins peuvent s'infiltrer à travers le gravier et conduire à une perte d'habitat de fraie pour le saumon (Nelson *et al.* 1987). Si ces sédiments fins sont transportés jusqu'à la zone côtière, les plages à capelan pourraient être affectées de la même manière, ce qui pourrait conduire à une diminution significative du succès de ponte (Nakashima et Taggart 2002).

Relation proie-prédateur

Le capelan est une espèce fourrage primordiale pour le maintien de l'équilibre écologique de l'écosystème du Saint-Laurent. Depuis les 20 dernières années, il est la principale proie de l'écosystème du nord du golfe du Saint-Laurent (MPO 2005). En effet, le capelan constitue un maillon près de la base de la chaîne alimentaire et permet le transfert de l'énergie des producteurs primaires et secondaires, dont il s'alimente, vers les espèces des niveaux trophiques plus élevés dont il est la proie. Les capelans s'alimentent principalement de zooplancton (Jangaard 1974, Vésin *et al.* 1981, Savenkoff *et al.* 2009). L'abondance de zooplancton peut donc constituer un important facteur de régulation de la force des classes d'âge du capelan (Vesin *et al.* 1981). Par ailleurs, la pêche peut fortement influencer l'abondance des populations de capelan soit directement, par les efforts de pêche ciblant spécifiquement le capelan, soit indirectement, par des efforts de pêche visant ses prédateurs, ce qui pourrait favoriser l'accroissement des populations de capelan (Worm et Myers 2003, Savenkoff *et al.* 2007a).

Les conditions du milieu peuvent également affecter, directement ou indirectement, l'abondance ou la disponibilité du capelan, de ses proies ou de ses prédateurs, influant ainsi les relations proies-prédateur. Au printemps, l'arrivée massive d'eau douce modifie les propriétés physico-chimiques environnantes et produit une stratification des couches d'eau. Le ralentissement du débit et de la vitesse du courant favorise le mélange des couches d'eau et stimule la production primaire (Dufour et Ouellet 2007). La modification du régime hydrique pourrait avoir un impact sur la prolifération printanière du plancton et, par conséquent, sur le capelan qui dépend du

zooplancton pour s'alimenter (Vesin *et al.* 1981). D'ailleurs, il semblerait que le capelan synchronise sa dérive larvaire de façon à coïncider avec la présence de masses d'eau riches en nourriture et fréquentées par moins de prédateurs. Ces masses d'eau favorables à la croissance des larves sont provoquées par l'action des vents côtiers (Frank et Leggett 1983). Si l'éclosion des larves survient à des périodes non propices à leur croissance, elles sont davantage disponibles pour la prédation (Frank et Leggett 1981a). Ainsi, lorsque les vents sont faibles ou absents, la dérive larvaire pourrait être retardée, ce qui conduirait à la dégradation de la condition physiologique des larves de capelan et les rendrait moins aptes à éviter les prédateurs.

La modification de la température de la colonne d'eau peut également changer la composition de la communauté ou la distribution du capelan, lorsque les limites thermiques sont atteintes. Ceci peut conduire à la modification de la dynamique de prédation et de compétition (Smith 1972). Dans la région de Terre-Neuve, Davoren *et al.* (2006) ont rapporté qu'au printemps, les capelans adultes, dont les gonades sont en maturation en prévision de la fraie, se rassemblent le long des côtes. Ils se déplacent vers les eaux de surface chaudes (> 0 °C) pendant les heures d'obscurité et restent en eau profonde froide (< 0 °C) pendant les périodes de clarté. Ces patrons de déplacement journalier peuvent représenter un compromis entre la croissance et la survie. D'ailleurs, Mowbray (2002) suggère que la dispersion verticale chez les capelans adultes est un moyen de diminuer les risques de prédation. Les eaux profondes et froides offrent un risque réduit de prédation de la part des prédateurs à repérage visuel et à respiration aérienne, alors que les eaux superficielles et chaudes permettent un développement accru des gonades (Davoren *et al.* 2006). Jorgensen *et al.* (2004) soulignent toutefois que la pression de sélection naturelle subie par le capelan l'inciterait à investir davantage dans la reproduction et l'alimentation plutôt que dans l'évitement des prédateurs.

Les effluents urbains, industriels (pâtes et papiers) et ceux provenant des usines de transformation de poisson, les eaux de ruissellement de l'industrie forestière et agricole, les déchets de l'industrie maritime et aquacole et les activités de dragage fournissent au milieu des quantités excédentaires de matière organique et de nutriments, et introduisent localement divers contaminants. Les effets néfastes des contaminants sur les poissons affectent leur état de santé général. Des poissons qui possèdent des nageoires atrophiées ou qui sont affectés par des maladies deviennent des proies plus faciles. Les poissons adultes peuvent transférer une partie de la charge toxique vers les œufs. Les larves et les juvéniles affectés par les toxines via leurs parents ou leur environnement peuvent développer, à leur tour, des anomalies et devenir plus vulnérables aux prédateurs. Par ailleurs, la hausse artificielle des charges sédimentaires engendre une augmentation de la turbidité du milieu, c'est-à-dire qu'elle enrichit les eaux de surface en particules et modifie la quantité de lumière qui pénètre dans l'eau. Une eau turbide peut affecter négativement ou positivement les organismes présents. Dans un premier temps, la quantité de lumière qui pénètre la colonne d'eau est un facteur limitant pour la production primaire. Or, celle-ci influe sur la production de zooplancton, dont la disponibilité est déterminante pour la survie des larves de poissons (Levasseur 1996). Dans un deuxième temps, l'absence de lumière et le manque de visibilité ont un effet important sur l'alimentation, même lorsque la nourriture est abondante, puisque plusieurs prédateurs aquatiques ont besoin de leur vue pour s'alimenter (Drolet *et al.* 1991, Gilbert *et al.* 1992). Dans certains cas, une eau très turbide peut fournir une protection contre les prédateurs, ce qui peut compenser les aspects négatifs liés à l'alimentation dans ces milieux et contribuer au maintien d'un certain niveau de croissance pour ces organismes (Sirois et Dodson 2000). Dans un troisième temps, un apport trop massif de matière organique et

de nutriments dans le milieu peut entraîner une détérioration du milieu et conduire à une perte d'habitat pour de nombreux organismes. Ainsi, cet apport excessif peut influencer la quantité de zooplancton disponible pour l'alimentation du capelan (Riegman 1995).

À l'inverse des activités précédemment mentionnées, les barrages hydroélectriques et autres ouvrages de régulation réduisent la quantité de matière organique et de nutriments alimentant le réseau hydrique ce qui, à l'instar d'une eau très turbide, défavorise la production primaire (Clarke *et al.* 2008). À la suite de la construction d'un barrage en Colombie-Britannique, Ashley *et al.* (1997) ont observé une diminution de l'apport en phosphore sur deux des tributaires de la rivière harnachée. Les résultats de l'étude montrent que cette diminution s'est traduite par un déclin de la production de phytoplancton et de zooplancton, ce qui a influencé négativement les prises de saumons.

Comme il a été mentionné précédemment, l'industrie aquacole peut, en plus d'ajouter localement d'importantes quantités de matière organique et de nutriments, constituer un compétiteur de plus pour le capelan. L'élevage de bivalves peut jouer un rôle important dans le cycle des éléments nutritifs des écosystèmes côtiers, puisque les éléments nutritifs stockés dans la biomasse des bivalves d'élevage ne sont plus disponibles pour le réseau trophique marin (MPO 2003). En outre, l'ingestion de phytoplancton par les bivalves peut réduire l'abondance de celui-ci dans le milieu environnant les installations (Horsted *et al.* 1988, Davenport *et al.* 2000). Dans les Grands Lacs, des études ont démontré que les bivalves entrent en concurrence avec le zooplancton pour la consommation des algues, ce qui affecte la production de zooplancton et entraîne des répercussions sur l'alimentation des poissons qui s'en nourrissent (EC 1996).

Reproduction

La maturation sexuelle, la période de fraie et le choix du lieu de ponte du capelan sont influencés par les conditions de température du milieu (Carscadden *et al.* 1997, Nakashima et Wheeler 2002, Grégoire 2004). À la fin de l'hiver et au printemps, les gonades des capelans deviennent matures (Carscadden *et al.* 1997). L'énergie consacrée à cette maturation fait diminuer le pourcentage de gras. Un pourcentage de gras insuffisant peut réduire le rythme de maturation des gonades et produire un impact négatif sur la reproduction (Orlova *et al.* 2006). Pour contrer ce phénomène, l'intensité de l'alimentation augmente, ce qui permet de maintenir le pourcentage en gras (Jangaard 1974). Or, la disponibilité des proies pour le capelan est influencée par la température de l'eau. Celle-ci peut donc affecter la quantité de gras, nécessaire au succès de reproduction.

La période de la ponte du capelan s'effectue en juin et juillet sur les plages de la côte est de Terre-Neuve et du Labrador. À ces endroits, les capelans préfèrent une eau entre 5.5 et 8.5 °C pour pondre. Toutefois, la ponte a déjà été observée à des températures aussi élevées que 10 °C (Jangaard 1974) et d'autres recherches ont rapporté un plus grand écart de température, de 2.5 à 10.8 °C (Frank et Leggett 1981a). Nakashima et Wheeler (2002) ont cependant observé que le long des côtes de Terre-Neuve, la ponte cesse lorsque les températures de l'eau sont supérieures à 12 °C. Lorsque la température de la colonne d'eau change, la période de la ponte peut changer. Au cours des années 90, des températures de l'eau plus froides ont été enregistrées sur la côte est de Terre-Neuve. Ce refroidissement serait responsable du retard observé dans la maturation des gonades, mais également dans la période de la ponte du capelan (Nakashima 1996). Lorsque la

ponte est plus tardive, il en résulte une réduction de la longueur et du poids des capelans matures (Carscadden 1978).

Il est suggéré que la maturation et la migration du capelan seraient étroitement liées au réchauffement printanier et au cycle du zooplancton, sa principale proie. Ainsi, une meilleure connaissance de la température de l'eau au printemps permettrait de prédire la période de fraie du capelan. En effet, une combinaison de l'augmentation de la longueur moyenne des capelans à des températures de l'eau plus chaude avant la ponte serait associée à une ponte plus hâtive, et inversement, celle-ci serait retardée si les capelans sont plus petits et que la température de l'eau est plus froide (Carscadden 1978, Nakashima 1996, Carscadden *et al.* 1997). Aussi, des capelans matures de plus petite taille vont avoir une production d'œufs plus faible puisque la fécondité est reliée à la longueur du poisson (Nakashima 1987), ce qui pourrait avoir un impact sur l'abondance du capelan. Toutefois, si la ponte est retardée et que les capelans fraient en été (juillet et août), ils vont pondre dans des eaux plus chaudes et les conséquences négatives reliées à la ponte seraient réduites (Nakashima et Wheeler 2002).

La fraie a lieu sur les plages et en eau peu profonde. Toute contamination de la zone de fraie par des polluants peut exposer les géniteurs à des concentrations élevées de contaminants (toxicité aiguë) et peut causer la mort des individus. L'exposition des poissons adultes à des concentrations sublétales de contaminants peut conduire à différents effets, mais peu d'études ont été menées en milieu naturel sur les contaminants et leurs effets sur les organismes. De plus, au moment de la fraie, les capelans migrent et se regroupent. Si ces comportements sont compromis suite à une exposition à des polluants, une diminution du succès de la reproduction serait attendue.

Les contaminants chimiques provenant des eaux usées peuvent affecter les fonctions reproductives chez les poissons mâles (perturbation endocrinienne) (EC 2007). Les perturbations endocriniennes créent un déséquilibre du système hormonal qui peut causer un retard dans la maturation des gonades et ainsi affecter la reproduction. Chez plusieurs espèces de poissons exposées aux effluents des usines de pâtes et papiers, une diminution de la taille des gonades, une modification de l'expression des caractères sexuels secondaires et une diminution de la fécondité ont été rapportées (Hewitt *et al.* 2008). Certains contaminants peuvent aussi être transférés. Des truites arc-en-ciel exposées à des BPC ont effectué un transfert de contaminants vers leurs œufs (Niimi 1983). Les BPC relevés dans les œufs diminuent leur taux de survie ainsi que celui des larves. Niimi (1983) a démontré que le pourcentage de lipides des poissons et le pourcentage total de lipides contenu dans les œufs peuvent influencer le transfert de contaminants du poisson aux œufs. Les fonctions immunitaires peuvent aussi être perturbées, exposant les poissons à une plus grande vulnérabilité aux infestations par des parasites et aux maladies infectieuses (Khan et Thulin 1991), ce qui peut influer sur la reproduction par une diminution des géniteurs. Le TBT provenant des peintures antisalissure est hautement immunotoxique pour l'ensemble des espèces aquatiques et est aussi un perturbateur endocrinien (Pelletier 2009). Des effets toxiques chroniques comme des dommages tissulaires et des effets neurotoxiques et hépatotoxiques ont également été associés à l'exposition au TBT (Fent 2006). Les poissons ainsi contaminés peuvent éprouver des difficultés à se rendre dans la zone de fraie dû à des problèmes de comportement et de motricité. Les pesticides utilisés en agriculture et en foresterie, comme l'atrazine et le diazinon, peuvent aussi induire des effets sur les activités de nage, les comportements de regroupement, le système immunitaire et le succès reproductif

(Niimi 1983, Giroux 2004, MPO 2007b). L'exposition des poissons adultes aux hydrocarbures peut influer sur leur taux de survie, leur croissance, leur rythme respiratoire et cardiaque, l'érosion de leurs nageoires et leur reproduction (Greig et Alexander 2009). Selon Couillard (Catherine Couillard, MPO, comm. pers.) les nageoires érodées repoussent, mais elles sont moins efficaces, ce qui diminue la mobilité des poissons lors des migrations et peut affecter leur succès de reproduction.

Diminution des géniteurs

Le stock reproducteur est constitué presque exclusivement de poissons âgés de trois et quatre ans (Grégoire 2004), dont le ratio varie naturellement d'une année à l'autre (Jangaard 1974). En prélevant en premier lieu les individus plus gros et à croissance plus rapide, les pêches peuvent créer une pression sélective artificielle entraînant une réaction d'adaptation du stock (Dufour et Ouellet 2007). Par exemple, dans le cas du capelan fortement exploité de la mer de Barents, le recrutement repose sur des individus à croissance lente qui atteignent leur maturité sexuelle à un âge plus précoce et à une plus petite taille (Terenschenko 2002). Cette adaptation permet d'augmenter les chances de reproduction avant la capture. Toutefois, selon Terenschenko (2002), des géniteurs plus petits et plus jeunes provoquent un important déclin de la fécondité et cet effet peut être amplifié par des conditions environnementales défavorables.

Puisque le stock reproducteur du capelan n'est constitué que de quelques classes d'âge et que les fluctuations d'abondance du capelan sont grandement reliées à celles du recrutement et aux conditions environnementales (Grégoire *et al.* 2003), un effort de pêche important combiné avec une année de faible recrutement, pourrait avoir un impact négatif sur la taille de la population et entrainer la disparition d'une grande partie du stock reproducteur (Jennings et Kaiser 1998).

Taille (longueur) des individus

La longueur moyenne des capelans sur l'aire de fraie varie selon la classe d'âge dominante, soit des poissons âgés de trois, quatre ou cinq ans. La taille individuelle des capelans varie, quant à elle, avec les saisons et les années. Comme cela a déjà été mentionné, la disponibilité de la nourriture et la température de l'eau peuvent avoir des effets considérables sur la taille des spécimens matures (Jangaard 1974, Carscadden *et al.* 1997). À partir du milieu des années 1980, à la suite d'un refroidissement des eaux de la couche intermédiaire froide du golfe du Saint-Laurent, une diminution constante de la taille moyenne des capelans a été observée. Cette diminution fut à l'origine d'une fermeture rapide de la pêche en 1994, et son arrêt presque complet en 1995. Depuis 1999, la taille du capelan est en augmentation, mais les valeurs mesurées en 2002 demeurent toujours en deçà de celles qui avaient été observées dans les années 1980 (Grégoire 2004). Ce n'est qu'en 2005 que les capelans ont recouvré une taille moyenne similaire à celle de la fin des années 1980, soit de 152 mm chez les femelles et de 170 mm chez les mâles (MPO 2005).

Éclosion des œufs

La durée d'incubation des œufs est fortement influencée par la température de l'eau. Comme il a été démontré par Jeffers (1931) (dans Jangaard 1974), l'éclosion a lieu en 55 jours à 0 °C, 30 jours à 5 °C et 15 jours à 10 °C. Les températures moyennes d'incubation sont déterminées par

un ensemble de variables, dont la température de l'eau, la température maximale et minimale de l'air et les heures d'ensoleillement (Fortier *et al.* 1987, Frank et Leggett 1981b).

L'exposition des œufs à des concentrations élevées de contaminants entraîne la mort des embryons (Walker et Peterson 1991). L'exposition des œufs à des concentrations sublétales de contaminants comme les composés organochlorés (p. ex. BPC, dioxines, furannes) peut diminuer le pourcentage d'éclosion ou causer des anomalies aux embryons (Hogan et Brauhn 1975, Zitco et Saunders 1979). Les HAP peuvent aussi altérer le développement embryonnaire et causer de graves anomalies prenant la forme de malformations (effets tératogènes) et de mutations (effets génotoxiques) (Couillard 2002, Greig et Alexander 2009). Le déversement de l'Exxon Valdez en Alaska a recouvert la zone intertidale de mazout et a affecté l'aire de fraie des harengs et d'autres poissons (Peterson 1989). À la suite de ce déversement, une diminution de l'abondance et de la biomasse des poissons de la zone intertidale a été observée.

Survie des larves

Les larves pré émergentes de capelan quittent le sable où elles étaient enfouies et se retrouvent dans un environnement pélagique (larves émergentes). Elles sont alors rapidement et passivement transportées vers le large par les masses d'eau plus chaude où elles vont croître et s'alimenter (Jaangard 1974). Frank et Leggett (1983) ont noté que l'émergence et la survie des larves sont régies par la température de l'eau et la présence de vents côtiers. Comme il y a peu de nourriture pour les larves dans les sédiments, celles-ci doivent quitter la plage avant d'avoir épuisé les réserves de leur sac vitellin. Dans le cas contraire, il se produirait une détérioration rapide de leur condition (Frank et Leggett 1981a). Les vagues, sous l'influence des vents, déferlent sur la plage et favorisent l'émergence des larves du substrat. Elles augmentent la température de l'eau, ce qui favorise l'activité larvaire, facilitant ainsi le stade pélagique du capelan (Frank et Leggett 1981a). Les vents côtiers favorisent la formation de masses d'eau riches en nourriture avec peu de prédateurs, constituant ainsi des conditions favorables à leur survie (Frank et Leggett 1983). Lorsque la température de l'eau est plus froide, les larves émergent plus tard en août et en septembre et peuvent rencontrer des conditions moins favorables à leur survie ou à leur croissance, telles que l'absence de vents côtiers qui favorisent généralement la hausse des températures de l'eau (Frank et Leggett 1983). De plus, des températures de l'eau plus froides peuvent réduire la croissance des larves et affecter leur transformation du stade larvaire au stade juvénile (Clarkson et Childs 2000) ou induire des effets indirects en agissant sur la production de nourriture disponible pour les larves de capelan. Cette action indirecte pourrait prendre la forme d'une augmentation du taux de mortalité par inanition ou d'une modification du taux de croissance qui influerait sur la capacité de nage et d'évitement des prédateurs ainsi que sur la période de prémétamorphose (Leggett *et al.* 1984).

L'exposition de larves de poissons à de fortes concentrations de contaminants entraîne leur mort et l'exposition à des concentrations sublétales peut conduire à des anomalies physiologiques. Le TBT a des effets embryotoxiques et androgéniques chez les poissons. McAllister et Kim (2004) ont démontré que l'exposition au TBT durant les premiers stades de vie du poisson-zèbre (*Danio rerio*) a causé la masculinisation (sex-ratio biaisé en faveur des mâles) et des dommages irréversibles à leurs spermatozoïdes. Les larves de poissons sont aussi très sensibles aux HAP. Les larves nouvellement écloses et exposées aux HAP montrent plusieurs anomalies (Peterson 1989). Des échantillons recueillis lors du déversement de l'*Exxon Valdez* ont montré, dans les

zones contaminées par le mazout, des taux de mortalité des larves beaucoup plus élevés, ainsi qu'un retard dans leur croissance.

Malformation

Des températures de l'eau trop élevées peuvent arrêter le développement des embryons ou conduire à un développement anormal, ce qui tend à augmenter la mortalité des œufs (Nakashima et Wheeler 2002). De la même manière, des températures de l'eau trop froides peuvent entraîner la déformation des embryons et même la mort (Clarke *et al.* 2008). L'exposition aux contaminants peut aussi induire des malformations. Les poissons sont sensibles aux concentrations élevées de métaux dans l'eau. Certains métaux, comme le plomb et le cadmium, ont des effets sur les structures membranaires et musculaires et causent des déformations osseuses (Mance 1987, Sorenson 1991). Les composés chlorés, quant à eux, peuvent produire des malformations vertébrales ou de l'érosion aux nageoires (Couillard et Nellis 1999).

L'eutrophisation

L'eutrophisation est un processus d'enrichissement des eaux qui peut se diviser en quatre étapes successives : i) l'apport excédentaire et continu de déchets organiques et d'éléments nutritifs (MCI 2009a, Dufour et Ouellet 2007), ii) la prolifération d'algues (phytoplancton et macroalgues), iii) la décomposition anaérobie, et iv) la dégradation extrême du milieu (Menesguen *et al.* 2001). L'augmentation de la température de l'eau peut accélérer le processus d'eutrophisation des plans d'eau (Malham *et al.* 2008).

Les effluents urbains, industriels, et ceux des usines de transformation de poisson, les eaux de ruissellement de l'industrie forestière et agricole, les déchets organiques de l'industrie maritime et aquacole rejetés dans les eaux côtières ainsi que les activités de dragage peuvent favoriser un apport excédentaire de matière organique et de nutriments et ainsi contribuer à l'eutrophisation des eaux côtières (Kennish 1992, Slepukhina *et al.* 1996, Chambers *et al.* 1997, Merilainen *et al.* 2000, Stewart et White 2001, EC 2003, Morry *et al.* 2003, MPO 2003, Hynynen *et al.* 2004, Islam *et al.* 2004, Colmenarejo *et al.* 2006, RNC 2008, Misic et Covazzi Harriague 2009, Norring et Jorgensen 2009). Les effets du rejet de matière organique et de nutriments provenant de ces sources sont habituellement localisés (Stewart et White 2001). Le niveau d'enrichissement dépend de plusieurs facteurs : l'ampleur de la source, les caractéristiques hydrographiques locales, la profondeur de l'eau et certains processus biologiques, comme l'absorption par le phytoplancton ou le recyclage (MPO 2003).

Un apport excessif en matière organique et en nutriments favorise une plus grande croissance du phytoplancton (Menesguen *et al.* 2001) et des macroalgues. En colonisant le milieu, le phytoplancton réduit la transparence et modifie les propriétés physico-chimiques de l'eau (MCI 2009a). À la fin de son cycle de vie, le phytoplancton se dépose sur le fond et augmente la quantité de matière organique à dégrader. Sa dégradation et le développement excessif et rapide des microalgues entraînent une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau, notamment près du fond (Hynynen *et al.* 2004). La prolifération de macroalgues et d'algues filamenteuses en zone intertidale peut affecter les zones de fraie et d'alimentation des communautés benthiques et ichtyologiques en colonisant le milieu et en le modifiant (Riegman 1995). Bref, la croissance excessive des algues et la réduction importante d'oxygène qui en découle peuvent conduire à des

modifications profondes de l'écosystème benthique : réduction de la biodiversité et apparition d'espèces plus tolérantes aux milieux faibles en oxygène, déplacement des poissons et des invertébrés vers des sites mieux oxygénés et, finalement, modification du réseau trophique du milieu (Islam *et al.* 2004, Dufour et Ouellet 2007, MCI 2009a, Pelletier 2009).

La raréfaction en oxygène conduit à une décomposition anaérobique (sans oxygène) des déchets organiques et à une dégradation des protéines et des autres composés azotés, libérant des gaz comme l'hydrogène sulfuré, l'ammoniac et le méthane (Islam *et al.* 2004). Ces produits sont potentiellement dangereux pour l'écosystème et toxiques pour les organismes marins à de faibles concentrations. Un déficit élevé en oxygène peut aussi porter préjudice au développement embryonnaire et larvaire des organismes qui vivent dans ce milieu en limitant les fonctions nourricières des zones de fraie et d'alevinage (Person-Le Ruyet 1986). Dans la baie de Vilaine (France), les conditions anoxiques dans la zone d'alevinage ont entraîné un retard de croissance chez les juvéniles de sole (Koutsikopoulos *et al.* 1989).

Les effets de l'eutrophisation peuvent s'étendre aux zones littorales ou intertidales. Soumises à des mouvements quotidiens d'eaux et de sédiments causés en bonne partie par les marées, les zones intertidales subissent l'influence de processus à grande échelle qui régissent les flux de matières particulaires et dissoutes (MPO 2003). Dans l'estuaire du Saint-Laurent, le phénomène d'eutrophisation peut se produire localement dans les baies où le courant est faible et où des eaux usées industrielles, urbaines ou provenant d'autres activités humaines sont déversées. À l'Île-du-Prince-Édouard, l'apport excessif d'engrais agricole a provoqué l'eutrophisation des eaux près de la côte, provoquant un appauvrissement en oxygène et en une réduction de la productivité de l'habitat (MPO 2003, Dufour et Ouellet 2007). Toutefois, ces sites sont relativement rares en raison de la topographie locale, de la faible densité de population et de la circulation rapide de l'eau dans l'estuaire qui élimine les effets de l'enrichissement en éléments nutritifs provenant des sources locales ou de l'amont (EC 1996).

Toxicité

On définit la toxicité d'un contaminant comme étant son potentiel à produire des effets nocifs sur la santé des organismes, à court, à moyen ou à long terme (Giroux 2004). Les effets observés dépendent du degré de toxicité du produit, de la fréquence et des conditions d'exposition. La toxicité des contaminants varie donc d'un produit à l'autre.

Les différents types de toxicité sont définis selon l'exposition. La toxicité aiguë est reliée à une courte période d'exposition (quelques heures à quelques jours) à des concentrations généralement élevées d'un produit chimique (Ramade 1979). Ce type de toxicité peut entraîner la perte de fonctions vitales et la mort. Les intoxications aiguës d'organismes résultent souvent d'un déversement accidentel de contaminants. La toxicité chronique peut être définie comme étant la somme des effets observés après une exposition à moyen et long terme à un contaminant. Les effets toxiques observés sur une plus grande échelle de temps sont la dégradation de l'état de santé générale des organismes et les perturbations de leurs cycles biologiques. Ce type de toxicité est observé fréquemment dans le milieu naturel (Dufour et Ouellet 2007).

Les effets des contaminants varient également selon l'espèce touchée, le degré de contamination (charge toxique) de l'organisme et la distance de la source de contaminant (Dufour et Ouellet

2007). Pour les composés persistants (plusieurs pesticides, BPC, DDT), la charge toxique est généralement proportionnelle au degré d'exposition, au niveau trophique, et varie selon le stade de développement de l'individu. Jusqu'à présent, peu de recherches ont été faites spécifiquement sur le capelan et les différents contaminants qui peuvent l'affecter. Toutefois, le cycle de vie relativement court du capelan (4 ou 5 ans), son niveau trophique peu élevé et son mode de vie pélagique font en sorte qu'il est moins exposé aux contaminants que des espèces sédentaires vivant en zone côtière.

De façon générale, les effets toxicologiques des contaminants sur les populations de poissons sont peu connus. Chaque classe de contaminants chimiques identifiée pourrait faire l'objet d'un examen détaillé distinct. Il existe un grave manque de données sur les effets cumulatifs de l'exposition à des produits chimiques et sur les effets d'expositions à de multiples contaminants sur les organismes. Certains contaminants, tels que le TBT, sont cependant mieux connus. Le TBT et ses dérivés sont toxiques pour les organismes marins et peuvent endommager certains organes et systèmes hormonaux. Quelques centaines de nanogrammes de TBT par litre d'eau suffisent pour causer des effets toxiques aigus chez des espèces d'invertébrés et de plancton, et quelques milligrammes par litre d'eau suffisent pour causer une réaction toxique aiguë chez les poissons. Le TBT induit également des effets neurotoxiques, embryotoxiques, hépatotoxiques et androgéniques chez les poissons (Fent 1996, 2006).

Bioaccumulation

La bioaccumulation est un processus dans lequel la charge de contaminants absorbés par les organismes marins est supérieure à ce que l'organisme peut métaboliser et les contaminants s'accumulent alors dans les tissus. Lorsque les contaminants sont transférés à des organismes de niveaux trophiques supérieurs par la prédation, ils s'y accumulent encore davantage ce qui correspond à la bioamplification. Les BPC et les autres contaminants organochlorés sont de bons exemples de contaminants pouvant se bioaccumuler dans des organismes marins et se retrouver à tous les niveaux de la chaîne alimentaire. Lebeuf *et al.* (1999) ont démontré que, malgré leurs concentrations bien en deçà des lignes directrices canadiennes pour la protection de la santé humaine, les BPC et les pesticides organochlorés s'accumulent dans la morue, la plie canadienne et le flétan du Groenland qui fréquentent le nord du golfe du Saint-Laurent.

En ce qui concerne le capelan, le cycle de la bioaccumulation se produit de la façon suivante : i) les contaminants s'accumulent dans les sédiments, ii) en filtrant l'eau pour s'alimenter, le zooplancton ingère de fines particules de sédiment qui contiennent des contaminants, iii) par la suite, il excrète le sédiment, mais les contaminants s'accumulent dans son corps, iv) le capelan, dont le zooplancton est la principale proie, ingère ces contaminants, ce qui entraîne une accumulation de ceux-ci dans le capelan.

Annexe 8. Exemple de complément d'information au modèle spécifique écologique de la zone de fraie et d'alevinage

L'Annexe 8a présente un résumé des différents enjeux identifiés pour la conservation du capelan en lien avec l'altération de la zone côtière. L'intérêt de cette annexe revient principalement au lien direct qu'il permet de faire entre les activités humaines et les facteurs de stress qu'elles engendrent. Cette information est partiellement représentée dans le modèle holistique (Figure 3) et le modèle spécifique écologique de la zone de fraie et d'alevinage (Figure 4). Cependant, les liens directs entre une activité et les facteurs de stress, tels qu'indiqués à l'Annexe 8a, ne sont pas directement représentés dans ces figures. La représentation schématique de ces informations dans un modèle SdE serait possible, mais nécessiterait la création d'un nouveau modèle ou encore augmenterait de beaucoup le niveau de détail présenté dans le modèle existant (modèle écologique susmentionné), ce qui viendrait le complexifier davantage.

D'autres compléments d'information pourraient aussi être apportés et transférés sous forme de SdE. L'Annexe 8b montre un exemple d'information encore plus détaillée pour le facteur de stress « Introduction de contaminants ». Il montre qu'il serait possible de subdiviser des impacts en plusieurs autres sous-impacts. Ces nouvelles informations, d'un niveau de détail encore plus pointu, pourraient aussi être reproduites sous forme de SdE.

Annexe 8a. Résumé des enjeux touchant la conservation du capelan dans l'aire d'étude et des relations existant entre les activités, les sous-activités et les facteurs de stress potentiels.

Activités	**Sous-activités**	**Facteurs de stress**					
		Modif. de la zone riveraine	Modif. du régime hydrique	Modif. température et salinité de l'eau	Modif. apport nutriments	Modif. apport matière organique	Introduction des contaminants
Hydroélectricité et gestion de l'eau	Barrage/déviation	X	X	X	X	X	
Activités municipales	Activités résidentielles	X	X	X	X	X	X
	Voirie	X	X	X	X	X	X
Activités récréotouristiques	Terrains de golf et espaces verts entretenus	X			X	X	X
	Navigation de plaisance	X	X				
	Véhicule motorisé	X					X
	Pêche récréative	X					
	Randonnée (pédestre, vélo, etc.)	X					
Industries lourdes	Aciérie	X	X	X	X	X	X
	Aluminerie	X	X	X	X	X	X
	Pâtes et papiers	X	X	X	X	X	X
Transport maritime	Transport de passagers ou de marchandises	X	X	X	X		X
	Infrastructures portuaires	X	X	X	X	X	X
Aquaculture	Installations en mer	X	X		X	X	X
	Installations terrestres	X		X	X	X	X
Transport routier	Transport de marchandises	X					X
	Infrastructures routières	X	X			X	X
Pétrole et gaz	Prospection sismique						
	Forage exploratoire				X	X	
	Exploitation	X					X
Pêches	Pêche ASR						X
	Pêche commerciale du capelan						X
	Prises accessoires						X
	Usine de transformation	X	X	X	X	X	
Foresterie			X	X	X	X	
Agriculture			X	X	X	X	X

Annexe 8b. Synthèse des activités humaines, des sources de contamination et des effets potentiels des contaminants sur les organismes aquatiques vivant dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.

Activité humaine	Contaminant	Effets potentiels
Activités municipales	- Eaux et neiges usées et eaux de ruissellement : DBT, molécules pharmaceutiques (œstrogènes et hormones), pesticides, métaux, sel (Na)	- Perturbation du système immunitaire - Perturbation du système endocrinien
Industries lourdes	- Aciérie : HAP, métaux. - Aluminerie : HAP - Usine de pâtes et papiers : contaminants organochlorés (PCDD/F, BPC, dioxines, furannes et autres) et mercure.	- Diminution de la taille des gonades - Modification des caractères sexuels secondaires - Diminution du nombre d'œufs pondus - Malformation vertébrale et érosion des nageoires - Effets embryotoxiques et immunotoxiques - Modification du cycle de reproduction
Transport maritime	- Transport maritime : eaux de ballast (HAP), peinture antisalissure (TBT), déversements accidentels (HAP). - Infrastructures portuaires : dragage (métaux : Hg, Cd, Pb), vieux quai (HAP)	- Effets neurotoxiques, embryotoxiques, hépatotoxiques, androgéniques et immutoxiques - Perturbation du système endocrinien - Biocide puissant
Aquaculture	- Antibiotiques et médicaments dans les aliments pour les poissons - Pesticides - Agents antisalissure utilisés sur les filets : cuivre - Matériaux des cages (métaux : Cd, Pb, Cu, Zn, Hg) - Aliments pour poissons - Désinfectants : composés de chlore	- Effets immutoxiques, génotoxiques et neurotoxiques - Perturbation du système endocrinien - Malformations osseuses
Transport routier	- Industrie du transport par camion : déversement accidentel de contaminants	- Les effets dépendent de la nature des contaminants.
Pétrole et gaz	- Exploitation et déversement accidentel : HAP	- Effets sur la survie et la croissance - Effets sur la reproduction; effets embryotoxiques
Foresterie	- Pesticides : tébufénozide, contaminants organochlorés (DDT, toxaphène, atrazine, autres), diazinon, HAP (apparaît à la suite de feux de forêt)	- Effets sur la reproduction; effets embryotoxiques - Perturbation du système endocrinien et immunitaire - Effets sur les activités de nage - Effets sur le comportement de regroupement
Agriculture	- Pesticides (insecticides, herbicides et fongicides), contaminants organochlorés (p. ex. DDT, toxaphène, métolachlore, atrazine), diazinon	- Effets sur la reproduction; effets embryotoxiques - Perturbation du système endocrinien et immunitaire - Effets sur les activités de nage - Effets sur le comportement de regroupement